

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 1 月 8 日 (08.01.2004)

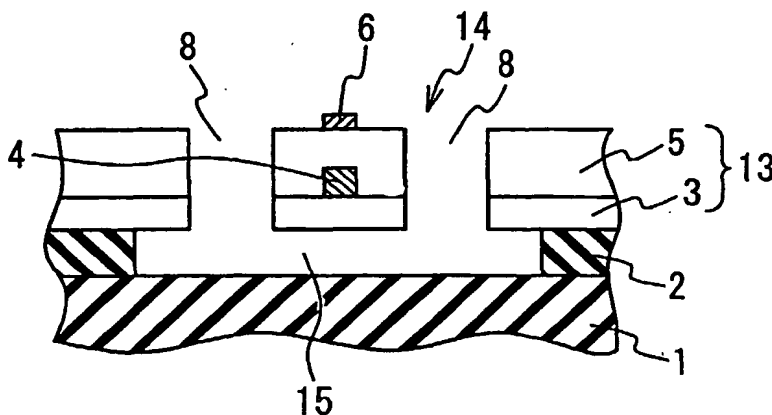
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/003639 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02F 1/01 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 高橋 森生 (TAKA-HASHI, Morio) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/008245
- (22) 国際出願日: 2003 年 6 月 27 日 (27.06.2003) (74) 代理人: 工藤 実 (KUDOH, Minoru); 〒140-0013 東京都品川区南大井六丁目 2 4 番 1 0 号 カドヤビル 6 階 Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): CN, US.
- (30) 優先権データ: 特願2002-190531 2002 年 6 月 28 日 (28.06.2002) JP 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 Tokyo (JP). 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: THERMOPHOTOMETRIC PHASE SHIFTER AND METHOD FOR FABRICATING THE SAME

(54) 発明の名称: 熱光学位相シフタとその製造方法



(57) Abstract: A thermophotometric phase shifter comprising a substrate, a heater, a clad layer provided directly or indirectly on the substrate, an optical waveguide clad layer formed separately from the substrate and the clad layer at a part corresponding to the heater and connected with the clad layer at a part other than the part corresponding to the heater, and a core provided in the optical waveguide clad layer. The optical waveguide clad layer and the core form an optical waveguide at the part corresponding to the heater, wherein the heater is provided separately from the core in the optical waveguide or on the outside thereof at the part corresponding to the heater and generates heat to alter the phase of the optical signal propagating on the optical

waveguide.

(57) 要約: 本発明の観点では、熱光学位相シフタは、基板と、ヒータと、前記基板の直接的又は間接的に上に設けられたクラッド層と、前記ヒータに対応する部位において、前記基板と前記クラッド層から離れて形成された光導波路クラッド層と、前記光導波路クラッド層は前記ヒータ対応部位以外において前記クラッド層に接続され、前記光導波路クラッド層の内部に設けられたコアとを具備している。前記光導波路クラッド層と前記コアは、前記ヒータ対応部位において光導波路を形成し、前記ヒータは、前記ヒータ対応部位において前記光導波路の内部又は外部に前記コアから離れて設けられていて、前記光導波路を伝播する光信号の位相を変更するように熱を発生する。

明細書

熱光学位相シフタとその製造方法

5

技術分野

本発明は、消費電力の低減を図った熱光学位相シフタ及びその製造方法に関する。

背景技術

10 光通信分野における多チャンネル化は、波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）通信方式の出現により急速に促進されている。それに伴い、チャンネル毎の機能的な制御、例えば各チャンネルのパワーを一定に揃える制御、スイッチングを行う制御を実現しようとする

15 現しようとする、チャンネル数に応じた数の光素子が必要となってくる。

このため、近時、光スイッチ等に適用でき、高密度集積が可能な小型光回路部品の必要性が高まっている。単体の光スイッチは既に実現されており、これらの光スイッチを多数使用し、複数の入出力ポートを持つマトリックススイッチも実用化されている。光スイッチを実現する技術としては、入力ポート及び出力ポートを機械的に動かして接続する方法（例えば、特開平9-5653号公報）、可動式のミラーを回転して所定の角度に傾ける

20 ことにより入力ポートと出力ポートとを接続する方法（例えば、特開2001-255474号公報及び電子情報通信学会総合大会予稿C-3-8（2002年）p.

25

Rec'd PCT/PTO 07 DEC 2004

1 4 0)、液晶を使用する方法（例えば、特開昭 6 2 -
1 8 7 8 2 6 号公報）、交差するように接続された導波
路の交差点で泡を発生させる手段により光の反射を制御
し、入力・出力ポート間の接続を変更する方法など、多
5 岐に渡る技術が提案されている。

その中でも、熱光学位相シフタを利用した平面光波回
路（P L C : P l a n L i g h t - w a v e C i r c u i t）型デバイス
は、その作製プロセスに半導体回路の作製技術を利用で
きることから、作製の容易さ及び集積性が極めて優れて
10 おり、高機能化・大規模化にも有利であるという特長を
もつ。

通常、熱光学位相シフタは次のようにして実現される。
先ず、基板上にクラッド層及びコアからなる光導波路が
作製される。この光導波路上に金属薄膜等が成膜され、
15 光導波路に沿った細線形状に加工される。この薄膜に外
部から電力が供給されると、薄膜の電気抵抗により熱が
発生し、光導波路のヒータとして動作する。このヒータ
において発生した熱は、光導波路のクラッド層を伝わり
コアに達する。その結果、光導波路におけるヒータで加
20 熱された部分の屈折率が増加し、屈折率変化量と導波路
長とに対応して実効導波路長が長くなり、出力端におけ
る光の位相がシフトする。ヒータに供給される電力を調
節することにより、位相のシフト量を任意に制御するこ
とができる。なお、光導波路が石英ガラスにより形成さ
25 れている場合、石英ガラスの屈折率温度係数（ dn/dT ）は約 1×10^{-5} （ $/^{\circ}\text{C}$ ）である。

1 本の光導波路が入力端において 2 本に分岐され、そ

の少なくとも一方が熱光学位相シフタに接続され、出力端において2本に分岐された光導波路が再結合される。これにより、光スイッチが実現される。例えば、2本の分岐された光導波路内を導波される光の位相が相互に半波長分シフトされると、出力端における出力はゼロとなる。また、位相シフトがなければ、入力されたままの光が出力される。これにより、出力のオン・オフを制御することができる。

しかしながら、多チャンネル化に対応するために、1つの光回路内に複数の熱光学位相シフタが配置される場合、1つの熱光学位相シフタが消費する電力が大きいと、光回路全体の消費電力が極めて大きくなってしまう。例えば光通信に通常使用されるような、波長が1550 nmの光が導波される場合、これまでに実用化された熱光学位相シフタでは、位相を半波長分シフトするために必要な電力は、1チャンネル当たり400 mW程度であった。従って、例えば40チャンネルの光通信回路を制御するために、各チャンネルに前述の熱光学位相シフタを利用したスイッチが設けられたとすると、最大で $40 \times 400 \text{ mW} = 16000 \text{ mW} = 16 \text{ W}$ もの電力を必要とする。なお、研究レベルでは1チャンネル当たりの消費電力が40 mW程度である熱光学位相シフタも報告されているが、熱光学部品に要求される高集積化に対しては、これでもまだ消費電力が大き過ぎる。

熱光学位相シフタの消費電力を低減するために、光導波路を形成する材料を屈折率の温度係数が大きい材料へ変更する方法、例えばポリマーを導波路に使用する方法

が提案されている（例えば特許第2848144号、Y. Hida et al. IEEE Photon. Technol. Lett. Vol. 5 (1993) pp. 782-784、電子情報通信学会総合大会予稿C-3-10 (2002年) p. 142)。

また、熱光学位相シフタの構造を、ヒータにおいて発生した熱が外部へ逃げないように、光導波路間に溝を設けた構造とする技術も提案されている（例えば、電子情報通信学会総合大会予稿C-3-61 (2001年) p. 226、電子情報通信学会総合大会予稿C-3-64 (2001年) p. 229、Q. Lai et al. IEEE Photon. Technol. Lett. Vol. 10 (1998) pp. 681-683)。これらの文献には、溝を設けることにより、少ない電力で所望の温度上昇量を得ることができると記載されている。

更に、ヒータにより発せられた熱が基板に逃げることを防止するために、コアの下方に位置するクラッド層を厚くする方法もある。更にまた、シリコン基板上に形成された熱光学位相シフタにおいて、ヒータにより発せられた熱が基板に逃げることを防止するために、光導波路の下方に位置する基板表面を除去し、光導波路がブリッジ構造を持つようにする技術も開示されている（例えば、特開平1-158413号公報、特開平5-34525号公報、特開2001-222034号公報）。更にまた、論文「A. Sugita et al. Trans. IEICE, Vol. E73 (1990) pp.

1 0 5 - 1 0 9」には、光導波路の下方に位置するシリコン基板の一部を残し、光導波路をシリコン基板に対して支持する支柱とする技術も開示されている。

更にまた、特許第 3 1 5 2 1 8 2 号公報には、石英基板上に選択的にシリコン薄膜が形成され、このシリコン薄膜を覆うようにアンダークラッドが形成され、このアンダークラッド上におけるシリコン薄膜の上方にコアが形成され、このコアを覆うようにオーバークラッドが形成される。こうして光導波路が形成され、この光導波路上にヒータが形成され、光導波路を挟む位置にシリコン薄膜まで到達する溝が形成され、この溝を介してシリコン薄膜が除去される技術が開示されている。これにより、光導波路と石英基板との間に隙間が形成されることができ、熱光学位相シフタの消費電力を低減することができる。

しかしながら、前述の従来の技術には、以下のような問題点がある。光導波路がポリマーで形成される場合、ポリマーは吸湿性が高く、熱光学位相シフタの製造中及び使用中に水分を吸収することにより膜質が劣化してしまう。このため、ポリマー光導波路は、石英ガラスで形成される光導波路と比較して、光の伝搬損失が大きくなる。また、ポリマー光導波路上に、この光導波路を保護するパッシベーション膜を形成することも困難である。このため、ポリマー光導波路は、石英ガラス光導波路と比較して、安定性が低く、信頼性に劣る。また、石英ガラス光導波路の一部にポリマーを埋め込む方法も考えられるが、作製工程の複雑化、低い再現性、石英ガラスと

ポリマーとの界面において生じる伝搬損失の増大といった問題がある。

また、光導波路間に溝を設ける方法では、ある光導波路の直上に配置されたヒータから発せられた熱が、隣接する他の光導波路に伝達されることは防止できるものの、ヒータの熱が基板に逃げることは防止できず、消費電力を低減する効果は小さい。

更に、コアの下方のクラッド層を厚くする方法においては、成膜中にクラッド層内に生じる応力によりクラックが発生するという問題点がある。また、この応力により、基板に反りが発生するという問題点もある。更に、この応力により、光導波路の光学特性が劣化する。更にまた、成膜時間が長くなるため、大量生産には向かない。このため、クラッド層を厚く形成することは、プロセス上困難である。

更にまた、光導波路の下方に位置するシリコン基板の表面を除去する技術では、シリコン基板をエッチングするために、エッチング液としてフッ硝酸等の強酸が必要となる。シリコン基板をエッチングする際には、ヒータはレジストで覆うことにより保護される。このレジストがフッ硝酸に耐えられず、エッチングによりヒータが損傷を受ける。このように、シリコン基板をエッチングする方法には、プロセス上の問題点がある。また、シリコン基板の一部を除去することにより、熱光学位相シフタの強度を確保するための基板自体を脆弱化させていることになり、結果として素子の機械的強度の低下を招いている。また、シリコン基板をエッチングすることにより、

クラッド層への応力の印加状態が変化して不安定な状態となり、結果として光導波路を構成するクラッド層自体の機械的強度及び光学特性が低下する。更にまた、論文「A. Sugita et al. Trans. I
5 EICE Vol. E73 (1990) pp. 105 - 109」に記載されているように、シリコン基板の一部を支柱として残すと、シリコンは熱伝導性が高いため、光導波路の断熱効果が著しく損なわれ、当初の低消費電力化の目的を果たせない。

10 更にまた、特許第3152182号公報に開示されている技術、即ち、基板上に選択的にシリコン薄膜が設けられ、後の工程でこのシリコン薄膜がエッチングされることにより基板と光導波路との間に隙間が形成される技術においても、シリコン薄膜のエッチングが困難である
15 という問題点がある。また、選択的に形成されたシリコン薄膜を覆うようにアンダークラッドを形成するため、このアンダークラッドの上面が平坦にならず、このアンダークラッド上にコア、オーバークラッド、ヒータの各層を形成することが困難であるという問題点がある。

20 上記説明と関連して、光スイッチ及びその製造方法が特開平6-148536に開示されている。この従来例の光スイッチは、片持ち梁状に支持されている弾性変形可能な1本の導電性の可動部材を有している。電極は、可動部材の近傍に配置され、静電力により可動部材を第
25 1位置及び第2位置の間で駆動する。停止部材は、第1位置及び第2位置のそれぞれの位置で可動部材を止める。第1光導波路は、可動部材に形成され、可動部材が第1

位置にあるとき、第 2 光導波路は、第 1 光導波路と光学的に結合され、可動部材が第 2 位置にあるとき、第 3 光導波路は第 1 光導波路と光学的に結合される。

また、半導体力学量センサ及びその製造方法が特開平 11-201984 に開示されている。この従来例の半導体力学量センサは、支持基板と、支持基板と電氣的に絶縁された状態で支持基板上に支持され、力学量の作用に応じて変位する半導体材料製の梁構造体と、梁構造体と一体に設けられた可動電極と、支持基板と電氣的に絶縁された状態で支持基板上に支持された半導体材料製の固定電極とを備えている。梁構造体の変位に伴う可動電極及び固定電極間の静電容量の変化に基づいて、梁構造体に作用する力学量が検出される。信号取出部は、支持基板と電氣的に絶縁された状態で支持基板上に設けられ、信号取出部と固定電極とは、多結晶半導体材料のみより成るエアブリッジ構造の配線膜により接続されている。

また、位相調整機能付光導波路の作製方法が日本国特許第 3204493 号に開示されている。この従来例の位相調整機能付光導波路は、基板上に形成されるクラッド層と、クラッド層に埋め込まれたコア部と、コア部の上部に設けられた光路長を調節するための位相調整用ヒータとを備えている。位相調整機能付光導波路の作製方法では、基板の一部が機械加工により除去され除去領域を形成する。基板より熱伝導率が低い材料の部材を除去領域に適合する形状に機械加工により形成し、その後両基板が一体化されて複合基板を形成する。クラッド層とコア部とからなる光導波路が複合基板上に作製される。

熱伝導率が低い材料の上部に位相調整用ヒータが作製される。

発明の開示

5 従って、本発明の目的は、作製が容易で、光学特性並びに強度、安定性及び信頼性が良好で、消費電力が小さい熱光学位相シフタ及びその製造方法を提供することである。

10 本発明の観点では、熱光学位相シフタは、基板と、ヒータと、前記基板の直接的又は間接的に上に設けられたクラッド層と、前記ヒータに対応する部位において、前記基板と前記クラッド層から離れて形成された橋梁部クラッド層と、前記橋梁部クラッド層の内部に設けられたコアとを具備する。前記橋梁部クラッド層は前記ヒータ
15 対応部位以外において前記クラッド層に接続され、前記橋梁部クラッド層と前記コアは、前記ヒータ対応部位において橋梁部光導波路を形成し、前記ヒータは、前記ヒータ対応部位において前記橋梁部光導波路の内部又は外部に前記コアから離なれて設けられていて、前記橋梁部
20 光導波路を伝播する光信号の位相を変更するように熱を発生する。

ここで、前記橋梁部クラッド層と前記基板との距離は、
4 μm 以上であることが好ましい。

25 前記コア、前記クラッド層及び前記橋梁部クラッド層が石英を含むガラス材料により形成されていることが好ましく、前記コアが形成されるガラス材料がゲルマニウムを含むことが好ましく、前記基板が石英を含むガラス

材料又はシリコンにより形成されていることが好ましい。

また、前記クラッド層は、犠牲層を介して前記基板上に形成され、前記犠牲層は、前記基板よりもエッチング速度が大きい材料により形成されていることが好ましい。

5 また、前記犠牲層は、前記基板より熱伝導率が小さい材料で形成されていることが好ましい。前記犠牲層は、リンを含むガラス材料で形成され、前記クラッド層は、ボロン及びリンを含むガラス材料で形成されていることが好ましい。

10 前記クラッド層は、前記基板の直接的に上に形成されていてもよい。

前記ヒータが前記橋梁部クラッド層の上に設けられていてもよく、前記ヒータが前記橋梁部クラッド層中に前記コアから離れて設けられていてもよい。この場合、前記ヒータが前記橋梁部クラッド層中で前記コアの下に設けられていてもよい。

また、熱光学位相シフタは、前記橋梁部クラッド層を支持するように、前記橋梁部光導波路と前記基板との間の隙間の一部に設けられた支持部を更に具備してもよい。

20 この場合、前記支持部を有する個所の前記橋梁部光導波路の幅は、前記支持部を有しない前記橋梁部導波路の幅より広くてもよい。前記支持部は、前記基板より熱伝導率が小さい材料で形成されていることが好ましく、また、前記基板よりもエッチング速度が大きい材料により形成

25 されていることが好ましい。

前記支持部は、前記クラッド層と同じ材料で形成されていてもよい。前記支持部が、前記コアが延びる方向の

全長にわたって連続的に形成されていてもよく、前記コアが延びる方向の一部に形成されていてもよい。

また、前記光導波路クラッド層は、前記ヒータ対応部位の端部において、中央部より広い幅を有していてもよい。

また、熱光学位相シフタは、前記ヒータ対応部位の途中に設けられ、前記クラッド層と前記光導波路クラッド層との間の溝に設けられ、前記クラッド層と前記光導波路クラッド層とを接続して前記光導波路を支持する補強梁を更に具備してもよい。

また、本発明の他の観点では、熱光学位相シフタの製造方法は、基板上に犠牲層を形成することと、前記犠牲層は、前記基板よりも大きいエッチング速度を有し、前記犠牲層を覆うように下側クラッド層を形成することと、前記下側クラッド層は、前記犠牲層より小さいエッチング速度を有し、前記下側クラッド層上の、所定部位にコアを形成することと、前記下側クラッド層と前記コアの上に上側クラッド層を形成することと、前記上側クラッド層上の、前記所定部位に対応する部位にヒータを形成することと、前記上側クラッド層と前記下側クラッド層を通過して前記犠牲層に達するように、前記ヒータの両側の、前記所定部位に対応する部位に溝を形成することと、前記溝を介して前記犠牲層の少なくとも一部を除去することにより達成される。

また、本発明の他の観点では、熱光学位相シフタの製造方は、基板上の犠牲層を形成することと、前記犠牲層は、前記基板よりも大きいエッチング速度を有し、前記

犠牲層を覆うように第1下側クラッド層を形成することと、前記第1下側クラッド層は、前記犠牲層より小さいエッチング速度を有し、前記第1下側クラッド層上の、所定部位にヒータを形成することと、前記第1下側クラッド層の上に第2下側クラッド層を形成することと、下側クラッド層は、前記下側第1クラッド層と前記第2下側クラッド層とを有し、前記第2下側クラッド層上の、前記所定部位に対応する部位にコアを形成することと、前記下側クラッド層と前記コアの上に上側クラッド層を形成することと、前記上側クラッド層と前記下側クラッド層を通して前記犠牲層に達するように、前記所定部位に対応する部位に前記ヒータの両側に溝を形成することと、前記溝を介して前記犠牲層の少なくとも一部を除去することにより達成される。

ここで、前記除去することは、前記下側クラッド層と前記基板との間に前記両側の溝を接続する隙間を形成するように、前記犠牲層を除去することを父君でもよいし、前記所定部位に対応する部位において、前記下側クラッド層を支持する部分を残すように、前記犠牲層を除去することを含んでもよい。前記除去することは、フッ化水素酸水溶液又は緩衝フッ化水素酸水溶液を用いて前記犠牲層を除去することを含むことが好ましい。

前記犠牲層の膜厚を4 μm 以上とすることが好ましい。また、前記犠牲層を形成することと、前記下側クラッド層又は前記第1下側クラッド層を形成することは、連続的に行われてもよい。

また、前記下側クラッド層を形成すること、前記コア

を形成すること、及び前記上側クラッド層を形成することは、常圧化学気相堆積法又はプラズマ化学気相堆積法を用いて行われてもよい。

5 本発明においては、ヒータにより光導波路を加熱することにより、光導波路を導波する光の位相を変化させることができる。このとき、ヒータで発生された熱がクラッド層を介して基板に直接伝達することを抑制でき、光導波路と基板との間の断熱性が向上する。これにより、少ない加熱量で効率良く光導波路の温度を上げることができる。また、クラッド層における溝間の部分が基板から分離されることで光導波路にかかる応力が低減され、光学特性の劣化を防ぐことができる。更に、溝により光導波路が周辺のクラッド層から分離されることにより、光導波路に印加される応力を著しく低減することができ、
10 応力の印加による光学特性の劣化を抑制することができる。この結果、熱光学位相シフタの光学特性が良好となり、且つ、消費電力が大幅に低減される。この結果、多数の熱光学位相シフタを大規模に集積することが可能となる。更にまた、ポリマーを使用していないので、安定性及び信頼性が優れ、製造が容易である。更にまた、フッ硝酸等の強酸によりシリコンをエッチングするプロセスがないので、製造が容易である。
20

また、本発明においては、ヒータで発生された熱がクラッド層を介して基板に直接伝達することを抑制でき、
25 少ない加熱量で効率良く光導波路層の温度を上げることができる。

また、犠牲層及びクラッド層の成膜を連続的に行うこ

とができ、作製プロセスを大幅に簡略化することができる。前記結果、作製コスト低減と高収率化とを実現することが可能である。なお、犠牲層を断続的に設けることにより、犠牲層内に生じる応力を十分に開放でき、成膜
5 プロセスの高信頼性と高い再現性を実現することができる。

また、上記隙間の一部に設けられ、クラッド層における溝間の部分を前記基板に対して支持する支持部を有していてもよい。これにより、光導波路層に印加される応
10 力が小さくなるので、光学特性の劣化を防ぐことができる。更に、光導波路の強度を確保でき、高密度集積化にも有利となる。

更に、支持部が犠牲材料により形成されていてもよい。これにより、支柱部が形成されるために特別な工程を設
15 けることなく、犠牲層をエッチングする工程を途中で止めることにより、支柱部が形成されることができる。又は支持部が犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により形成されていてもよい。これにより、犠牲層のエ
ッチングを途中で停止して支持部を残す場合と比較して、
20 支柱部の形成を自己整合的に行うことができ、作製の制御性及び再現性が向上し、支柱部の形状のばらつきが小さくなる。また、支持部を熱伝導率が小さい材料により形成されることにより、熱光学位相シフトの消費電力をより一層低減することができる。

25 更にまた、犠牲材料の熱伝導率が、基板が形成される材料の熱伝導率よりも小さいことが好ましい。これにより、犠牲層の一部をヒータ下方域に残されたとしても、

犠牲層の熱伝導率が小さいことにより、ヒータで発生された熱が基板に伝達することを極力抑制でき、少ない加熱量で効率良く光導波路層の温度を上げることができる。この結果、1つの熱光学位相シフタにおける消費電力が大幅に低減され、大規模集積化が可能となる。

更にまた、犠牲材料がリンを含むガラス材料であり、クラッド層が形成される材料がボロン及びリンを含むガラス材料であることが好ましい。これにより、犠牲層とクラッド層との間でBHF溶液によるエッチング速度差が十分に得られ、犠牲層除去工程でクラッド層を劣化させることがないために、作製工程の高い信頼性及び良好な再現性を実現でき、更に、伝搬損失が小さく光学特性が優れた熱光学位相シフタの実現が可能となる。

更にまた、支持部が、コアの直下域において前記コアが延びる方向の全長にわたって連続的に形成されていてもよい。これにより、強い機械的振動を受ける環境で利用する場合等に支柱部が支えとして働き、光導波路の破断等の故障を防ぐことができる。さらに、支柱部の熱伝導率を基板よりも小さくすることにより、前述の従来の技術に記載されているような基板を支えとする場合と比較して、ヒータから基板側へ熱が逃げる経路を実質的に減少させることができ、大幅な消費電力の低減が可能となる。又は、支持部が、コアの直下域においてコアが延びる方向の一部に形成されていてもよい。これにより、ヒータが設置された光導波路部を周辺のクラッド層から分離して、応力を最大限に開放して光学特性劣化の抑制を図れると共に、前記光導波路の一部を基板側から支え

ることにより、機械的強度も確保することができる。更に、支柱部以外の部分は断熱性が極めて高いので、消費電力を大幅に低減することでき、熱光学部品の大規模集積化が可能となる。

- 5 更にまた、溝を張架するように設けられ、クラッド層における溝間の部分を、部分と共に溝を挟む部分に対して支持する支持梁を有することが好ましい。これにより、光導波路に印加される応力を最大限開放できると共に、光導波路の強度が向上し、強い機械的振動を受ける環境
- 10 下での使用も可能となる。なお、支持梁を設けることにより、消費電力が多少増加するが、支持梁の下方にある犠牲層が除去されているので、光導波路から支持梁を介して基板へ熱が逃げるのが抑制され、十分な消費電力低減効果が得られる。
- 15 更にまた、溝におけるコアが延びる方向に平行な側面のうちコアに近い側の側面は、コアが延びる方向における端部において、方向における端縁に近づくにつれてコアから離れるように湾曲していることが好ましい。これにより、ブリッジ状の光導波路の根元の部分に相当する
- 20 最も機械的に弱い部分を、作製工程を全く変更することなく補強することができるので、熱光学位相シフトの信頼性をより一層向上させることができる。

更にまた、ヒータがクラッド層の表面に設けられていてもよい。これにより、ヒータから発生する熱が光導波路の温度上昇に寄与せずに基板に直接逃げてしまうことを抑制でき、光導波路の加熱効率を向上させることができる。また、熱光学位相シフトの作製工程が簡略化され、

25

高収率性を実現することが可能となる。

又は、ヒータがクラッド層中に設けられていてもよい。これにより、ヒータが空気中に曝されないことで安定化を図れると共に、作製中にヒータがエッチング液などにより変形を受けたり変質が起きたりすることが無くなり、信頼性が高い熱光学位相シフタが形成されることが可能となる。

更にまた、コア及びクラッド層が石英を含むガラス材料により形成されていることが好ましい。これにより、光導波路の伝搬損失が小さく光学特性及び安定性が優れた熱光学位相シフタの実現が可能となる。

更にまた、基板が石英を含むガラス材料又はシリコンにより形成されていることが好ましい。これにより、シリコン半導体プロセスを使用して、本発明の熱光学位相シフタが形成されることができ。ため、熱光学位相シフタの作製が容易になり、作製の信頼性及び再現性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

図 1 A は本発明の第 1 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 B は A 1 - A 1' 線に沿った断面図である。

図 2 A 乃至 2 D は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法をその工程順に示す断面図である。

図 3 A は本発明の第 2 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 3 B は A 2 - A 2' 線に沿った断面図である。

図 4 A 乃至 4 D は本発明の第 3 実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法をその工程順に示す断面図である。

図 5 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 5 B は A 3 - A 3' 線に沿った断面図である。

図 6 A は本発明の第 4 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 6 B は A 4 - A 4' 線に沿った断面図である。

図 7 A は本発明の第 5 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 7 B は A 5 - A 5' 線に沿った断面図である。

図 8 A 乃至 8 D は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法をその工程順に示す断面図である。

図 9 A は本発明の第 6 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 9 B は A 6 - A 6' 線に沿った断面図である。

図 10 A は本発明の第 7 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 10 B は A 7 - A 7' 線に沿った断面図である。

図 11 A 乃至 11 D は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法をその工程順に示す断面図である。

図 12 A は本発明の第 8 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 12 B は A 8 - A 8' 線に沿った断面図である。

図 13 A は本発明の第 9 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 13 B は A に示す A 9 - A 9' 線に沿った断面図であり、図 13 C は A に示す B 9

ー B 9' 線に沿った断面図である。

図 1 4 A は本発明の第 1 0 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 4 B は図 1 4 A に示す A 1 0 - A 1 0' 線に沿った断面図であり、図 1 4 C は図 1 4 A に示す B 1 0 - B 1 0' 線に沿った断面図である。

図 1 5 A は本発明の第 1 1 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 5 B は図 1 5 A に示す A 1 1 - A 1 1' 線に沿った断面図であり、図 1 5 C は図 1 5 A に示す B 1 1 - B 1 1' 線に沿った断面図である。

10 図 1 6 A は本発明の第 1 2 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 6 B は図 1 6 A に示す A 1 2 - A 1 2' 線に沿った断面図であり、図 1 6 C は図 1 6 A に示す B 1 2 - B 1 2' 線に沿った断面図である。

15 図 1 7 A は本発明の第 1 3 実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 7 B は図 1 7 A に示す A 1 3 - A 1 3' 線に沿った断面図であり、図 1 7 C は図 1 7 A に示す B 1 3 - B 1 3' 線に沿った断面図である。

図 1 8 A 乃至 1 8 D は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法をその工程順に示す断面図である。

20 図 1 9 は、本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法における図 1 8 C に示す工程を示す平面図である。

発明を実施するための最良の形態

25 以下、本発明の熱光学位相シフタについて添付の図面を参照して詳細に説明する。

先ず、本発明の第 1 実施例による熱光学位相シフタについて説明する。図 1 A は本実施例に係る熱光学位相シ

フタを示す平面図であり、図 1 B は図 1 A に示される A 1 - A 1 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。また、図 2 A 乃至 D は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法を示す熱光学位相シフタの断面図である。

5 図 1 A 及び 1 B に示されるように、第 1 実施例に係る熱光学位相シフタにおいては、例えば厚さが 0.8 mm のシリコン基板 1 が設けられ、基板 1 上に、犠牲層 2 が設けられている。犠牲層 2 は、例えばガラスにリンがドー
10 ープされたリン添加シリカガラス (PSG) で形成されており、その膜厚は例えば 5 μ m である。犠牲層 2 上にはクラッド層 13 が設けられている。クラッド層 13 は、犠牲層 2 上に設けられた下側クラッド層 3 と、この下側クラッド層 3 上に設けられた上側クラッド層 5 を有する。下側クラッド層 3 及び上側クラッド層 5 は、例えばガラ
15 スにボロン及びリンがドーピングされた BPSG で形成されており、その膜厚は例えば夫々 14 μ m 及び 15 μ m である。なお、基板 1 はシリコン以外の半導体又は石英ガラス等の絶縁体で形成されていてもよい。また、犠牲層 2 は、PSG に限らず、基板 1 及びクラッド層 13 より
20 もエッチング速度が大きく、基板 1 及びクラッド層 13 に対して選択エッチングが可能な材料により形成されていけばよく、この条件を満たす限り、例えば半導体又は PSG 以外のガラスにより形成されていてもよい。

また、下側クラッド層 3 上には基板 1 の表面に平行な
25 方向に延びるコア 4 が設けられており、上側クラッド層 5 はコア 4 を覆うように設けられている。コア 4 及びコア 4 の周囲のクラッド層 13 により、光導波路 14 が形

成されている。コアは直線状に形成されていることが望ましいが、曲線状に形成されていてもよい。コア 4 の長手方向に直交する断面の形状は、例えば高さが $5.5 \mu\text{m}$ 、幅が $5.5 \mu\text{m}$ の矩形である。また、コア 4 はクラッド層 13 よりも屈折率が高い材料、例えば、GPSG（ゲルマニウム・リン添加シリカガラス）により形成されており、コア 4 とクラッド層 13 との屈折率差 Δ は例えば 0.65% である。

更に、光導波路 14 上、即ち、上側クラッド層 5 の表面には、薄膜ヒータ 6 が設けられている。薄膜ヒータ 6 は、例えばクロムからなる薄膜であり、膜厚は例えば $0.2 \mu\text{m}$ である。薄膜ヒータ 6 は両端部の電極部分 6a と、電極部分 6a 間のヒータ部分 6b を備えている。電極部分 6a の形状は、例えば正方形であり、ヒータ部分 6b の形状は、例えば幅が $10 \mu\text{m}$ 、長さが 4mm の細線状である。

また、クラッド層 13 における薄膜ヒータ 6 に相当する領域の両側、即ち光導波路 14 の両側には、コア 4 が延びる方向と平行に延びる溝 8 が形成されている。即ち、溝 8 は光導波路 14 を挟むように 2ヶ所に形成されている。溝 8 の長手方向、即ちコア 4 が延びる方向の長さは例えば 4mm であり、溝 8 の幅、即ち、コア 4 が延びる方向に直交する方向の長さは例えば $250 \mu\text{m}$ であり、溝 8 の深さは例えば $29 \mu\text{m}$ である。溝 8 間の距離、即ち、光導波路 14 のリッジ幅は例えば $25 \mu\text{m}$ である。

また、光導波路 14 と基板 1 との間においては、犠牲層 2 が除去され、隙間 15 が形成されている。隙間 15

の高さは犠牲層 2 の膜厚と等しく、例えば $5\ \mu\text{m}$ である。これにより、2 本の溝 8 及び隙間 15 により、光導波路 14 以外のクラッド層 13、犠牲層 2 及び基板 1 から離間され、橋梁部光導波路 (bridge suspended optical waveguide) 14 が形成されている。なお、犠牲層 2 は基板 1 上において隙間 15 を除く全面に形成されている。また、溝 8 は犠牲層 2 に達するように形成されていてもよい。

次に、本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法について説明する。まず、図 2 A に示されるように、例えば厚さが $0.8\ \text{mm}$ であるシリコン基板 1 上に、常圧化学気相成膜法 (AP-CVD) により、犠牲層 2 が形成される。犠牲層 2 の材料は、基板 1 及びクラッド層 13 に対して選択エッチングが可能な材料であればよく、例えば、半導体又はガラス等であればよいが、本実施例においては PSG とする。また、犠牲層 2 の膜厚は、例えば $5\ \mu\text{m}$ とする。

次に、AP-CVD により、石英を主成分とするガラス膜、例えば BPSG が厚さ $14\ \mu\text{m}$ に成膜され、下側クラッド層 3 が形成される。犠牲層 2 の PSG と、下側クラッド層 3 の BPSG とは、ドーピングする元素を途中で変化させることにより、AP-CVD による連続成膜が可能である。

下側クラッド層 3 上に、下側クラッド層 3 よりも屈折率が大きい材料により、薄膜 4a が形成される。薄膜 4a は、例えば下側クラッド層 3 との比屈折率差 Δ が 0.65% となるようにゲルマニウム及びリンの混入量が調

節された G P S G (ゲルマニウム・リン添加シリカガラス) から形成されており、A P - C V D により例えば 5 . 5 μ m の厚さに成膜される。

次に、図 2 B に示されるように、フォトリソグラフィ及び反応性イオンエッチング (R I E) により薄膜 4 a がパターンニングされ、基板 1 の表面に平行な方向に延び、この方向に直交する断面が矩形状であるコア 4 が形成される。コア 4 の幅は例えば 5 . 5 μ m である。次に、コア 4 を埋め込むように、例えば B P S G の上側クラッド層 5 が A P - C V D により例えば 1 5 μ m の膜厚に形成され、埋め込み型の光導波路が形成される。

次に、図 2 C に示されるように、上側クラッド層 5 の表面におけるコア 4 の直上域に、例えばクロム薄膜等の金属膜が電子ビーム蒸着法により例えば 0 . 2 μ m の膜厚に成膜される。続いて、フォトリソグラフィ及びウェットエッチングにより、金属膜は所定の形状にパターンニングされ、薄膜ヒータ 6 が形成される。

次に、図 2 D に示されるように、上側クラッド層 5 及び薄膜ヒータ 6 を覆うようにレジスト 7 が成膜される。レジスト 7 には、フォトリソグラフィにより、薄膜ヒータ 6 の両側に 2 ヶ所の開口部 7 a が形成される。開口部 7 a 間の距離は例えば 2 5 μ m である。続いて、レジスト 7 をマスクとして R I E によりエッチングが行われ、クラッド層 1 3 及び犠牲層 2 における薄膜ヒータ 6 の両脇に相当する領域が選択的に除去され、基板 1 に達する深さの溝 8 が形成される。

次に、図 1 B に示されるように、薄膜ヒータ 6 を保護

するためにレジスト 7 を残したまま、溝 8 を介して緩衝フッ化水素溶液 (BHF) により犠牲層 2 のウェットエッチングが行われ、橋梁部光導波路 14 の下方に位置する犠牲層 2 が除去される。これにより、溝 8 間における

5 基板 1 とクラッド層 13 との間の領域に隙間 15 が形成される。隙間 15 の高さは犠牲層 2 の膜厚と等しく、例えば 5 μm である。なお、このとき、エッチング液として緩衝フッ化水素溶液 (BHF) が使用されると、犠牲層 2 の材料である PSG に対するエッチング速度は、ク

10 ラッド層 13 の材料である BPSSG に対するエッチング速度の 6 乃至 10 倍程度となる。また、基板 1 の材料であるシリコンはほとんどエッチングされない。このため、PSG 膜は犠牲層としての機能する。このようにして、本実施例の熱光学位相シフタが作製される。

15 次に、第 1 実施例に係る熱光学位相シフタの動作について説明する。外部電源 (図示せず) により薄膜ヒータ 6 に電力が供給される。これにより、薄膜ヒータ 6 が発熱し、光導波路 14 の温度を上昇させることにより光導波路 14 の屈折率が変化し、光導波路 14 の実効長が変

20 化する。この結果、入力端 (図示せず) から光導波路 14 に入射された光の出力端 (図示せず) における位相が変化する。

本実施例においては、光導波路 14 が基板 1 及び光導波路 14 以外のクラッド層 13 から離間されているので、

25 薄膜ヒータ 6 から発せられた熱が基板 1 及びクラッド層 13 に逃げるのが抑制されることができ、光導波路 14 を効率的に加熱することができる。

なお、薄膜ヒータ 6 において発生された熱は、クラッド層 1 3 の長手方向、並びに溝 8 及び隙間 1 5 に充填された空気を伝わって多少は逃げて行くが、本実施例の熱光学位相シフタの構造では、熱伝導パスが少ないので、
5 逃げていく熱量は極めて小さい。従って、効率よく光導波路 1 4 を加熱することができる。このため、熱光学位相シフタの駆動に伴う消費電力が極めて小さい。

また、基板 1 と光導波路 1 4 との間の距離、即ち隙間 1 5 を大きくするほど、光導波路 1 4 の断熱性が向上し、
10 熱光学位相シフタの消費電力が低減する。隙間 1 5 の高さ、即ち犠牲層 2 の膜厚を $4\ \mu\text{m}$ 以上とすることにより、熱光学位相シフタの消費電力を、従来の最小値である $40\ \text{mW}$ から更に半減して $20\ \text{mW}$ 以下とすることができる。このため、隙間 1 5 は $4\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。
15

本実施例において、入射光として波長が $1550\ \text{nm}$ の光が使用されると、位相シフト量を半波長分とするのに必要な電力量が実測で $10\ \text{mW}$ 程度であった。これは、従来の熱光学位相シフタの消費電力の $1/40$ に相当する極めて小さな値である。即ち、本実施例の熱光学位相シフタにより 40 チャンネルの光スイッチが作製された場合、従来の熱光学位相シフタ方式による光スイッチの 1 チャンネル分の電力で、この光スイッチを制御することができることになる。これに伴い、電源回路の簡略化等、外部パッケージの小型化も図ることができ、デバイスのより一層の小型化・大規模化が可能となる。
20
25

また、本実施例においては、光導波路 1 4 が基板 1 及

びクラッド層 1 3 から離間しているので、基板 1 及びクラッド層 1 3 から印加される応力が少ない。また、犠牲層 2 が 5 μ m 程度と薄いので、犠牲層 2 から光導波路 1 4 に働く応力も少ない。更に、基板 1 はエッチングされていないので、基板 1 から光導波路 1 4 に印加される応力がエッチング量に応じて変化することがなく、エッチングにより基板 1 が脆弱になることもない。更にまた、下側クラッド層 3 の形成時点においては、犠牲層 2 が基板 1 上の全面に形成されているので、下側クラッド層 3 の表面が平坦になり、この平坦な面上にコア 4 を形成することができる。このため、本実施例に係る熱光学位相シフタは、応力に起因する偏光依存性が少なく、光学特性が良好であると共に、機械的強度が高い。更に、本実施例の熱光学位相シフタは、その材料としてポリマーは使用されていないので、耐熱性が高く、安定性及び信頼性が優れている。

本実施例に係る熱光学位相シフタは、光学特性においても、従来の熱光学位相シフタと比較して損なわれている点は全くなく、波長の 3 倍の位相シフト量を得られる温度（供給電力は 60 mW 程度）に加熱しても、熱応力による破断等は全く生ぜず、機械的強度は問題ないことが確認された。

更に、本実施例においては、シリコンをエッチングする工程が存在しないので、エッチング液としてフッ硝酸等の強酸を使用する必要がない。また、前述の如く、犠牲層 2 は基板 1 の全面に形成されているので、下側クラッド層 3 の表面に段差が形成されることがなく、平坦で

ある。また、溝 8 を形成するために設けられたレジスト 7 が、溝 8 の形成後に薄膜ヒータ 6 の保護膜としてそのまま使用されることができる。これにより、溝 8 の形成後にレジストを新たに形成する必要がない。また、熱光学位相シフタの材料としてポリマーは使用されていないので、アニールに対する制約もない。このため、本実施例に係る熱光学位相シフタは製造が容易である。本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法は、従来の熱光学位相シフタの製造方法からの変更点が極めて少なく、新たなエッチング装置等を導入する必要も無い。また、歩留まりの低下を招くような負荷が高いプロセスも無く、いずれの光導波路にもすぐに適応が可能である。

次に、本発明の第 2 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 3 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 3 B は図 3 A に示される A 2 - A 2 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。本実施例における光導波路 1 4、薄膜ヒータ 6 及び溝 8 の構成及び製造方法は、前述の第 1 実施例と同様であるので、詳細な説明は省略する。第 1 実施例では薄膜ヒータ 6 の下方における犠牲層 2 が全てエッチングされて除去されたが、第 2 実施例では犠牲層 2 の一部を残して支柱 2 a が形成されている。残留させる犠牲層 2 (支柱 2 a) の幅はエッチング速度を予め明らかにしておくことで、エッチング時間で制御することができる。

熱光学位相シフタが極めて強い振動等の機械的ストレスを受ける場合は、第 1 実施例における光導波路 1 4 の構造は吊り橋と同様であるので、場合によっては光導波

路 1 4 が破断する可能性がある。また、破断しないまでも、光導波路 1 4 が湾曲して基板 1 又は光導波路 1 4 以外のクラッド層 1 3 に接触して熱効率が低下し、消費電力が増大する可能性がある。光導波路 1 4 を支えるために、特開平 1 - 1 5 8 4 1 3 号公報等ではシリコン基板のエッチングを途中で止める方法が示されているが、シリコンのような熱伝導性が高い材料により支柱が形成されると、消費電力が著しく増大してしまうという問題が生じる。このように、強度の確保と消費電力の低減との間でトレードオフが存在する。これに対して、第 2 実施例のように、犠牲層 2 が熱伝導性が低い P S G 等で形成され、光導波路 1 4 の直下に位置する犠牲層 2 の一部が残され、支柱 2 a が形成される。これにより、支柱を熱伝導性が高いシリコン等により形成される場合と比較して、大幅な消費電力の低減を図ることが可能となる。

第 2 実施例に係る熱光学位相シフタの消費電力は、残留させる犠牲層 2、即ち、支柱 2 a の幅によって大きく変化する。支柱 2 a の幅が $5 \mu\text{m}$ の場合及び $10 \mu\text{m}$ の場合に、波長が 1550 nm の光に対して半波長分の位相シフト量が得られる消費電力が実測された結果、夫々約 60 mW 及び約 120 mW であった。従って、従来の熱光学位相シフタと比較して、十分に消費電力の低減を図ることができた。

なお、第 1 実施例のように、光導波路が完全に基板から分離される場合と比較すると、6 乃至 12 倍の電力が必要となってしまう。但し、機械的強度は、本実施例に係る熱光学位相シフタは、第 1 実施例に係る熱光学位相

シフタよりも優れている。従って、用途に応じて第 1 実施例に係る熱光学位相シフタと本実施例に係る熱光学位相シフタとを選択すればよい。

次に、本発明の第 3 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 4 A 乃至 4 D は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法を示す熱光学位相シフタの断面図である。また、図 5 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 5 B は図 5 A に示される A 3 - A 3' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。

第 1 実施例においては、犠牲層 2 が基板 1 上の全面に形成され、犠牲層 2 と下側クラッド層 3 とが連続成膜されたが、第 3 実施例においては、犠牲層 2 が薄膜ヒータ 6 の下方に相当する領域にのみに設けられている。

犠牲層 2 を形成する材料によっては、基板 1 の全面に犠牲層 2 が成膜されることにより、極めて大きな応力が生じる。このため、光導波路 1 4 の光学特性の劣化及び光導波路の形成における成膜の不具合等が起こることがある。このため、本実施例においては、先ず犠牲層 2 のみが成膜された後、犠牲層 2 が必要な部分のみに残るようにパターニングが行われる。

先ず、図 4 A に示されるように、基板 1 上の全面に犠牲層 2 が成膜される。フォトリソグラフィ及び R I E により犠牲層 2 がパターニングされて選択的に除去される。このとき、犠牲層 2 は薄膜ヒータ 6 の下方のみに残留して細線状となるので、膜応力は解放される。犠牲層 2 の材料には、第 1 実施例と同様に、例えば P S G が使用される。

次に、図 4 B に示されるように、この犠牲層 2 上に、第 1 実施例と同様な方法により、下側クラッド層 3、コア 4、上側クラッド層 5 が形成される。次に、図 4 C に示されるように、上側クラッド層 5 の表面における犠牲層 2 に相当する領域に、薄膜ヒータ 6 が形成される。次に、図 4 D に示されるように、第 1 実施例と同様に上側クラッド層 5 及び薄膜ヒータ 6 上にレジスト 7 が形成される。このレジスト 7 をマスクとして用いて上側クラッド層 5、下側クラッド層 3 及び犠牲層 2 が順次エッチングされ、光導波路 1 4 の両側にエッチング用の溝 8 が形成される。

その後、図 5 A 及び 5 B に示されるように、溝 8 を介して犠牲層 2（図 4 D 参照）のウェットエッチングが行われ、犠牲層 2 が除去される。これにより、犠牲層 2 が残留しておらず、溝 8 の外側においては、基板 1 上に下側クラッド層 3 が設けられた熱光学位相シフタが形成されることができる。第 3 実施例における上記以外の構成及び製造方法は、第 1 実施例と同様である。

第 3 実施例においては、犠牲層が選択エッチングされているので、工程としては 1 ステップの増加となるが、犠牲層に生じる応力を開放することができる。このため、光導波路 1 4 の偏光依存性をより一層低減することができる。また、予め犠牲層 2 をパターンニングすることにより、ウェットエッチングにより犠牲層 2 が除去される際のエッチングのばらつきがなくなり、より一層の信頼性及び歩留まりの向上を図ることができる。

更に、犠牲層 2 を P S G により形成することにより、エッチング液として B H F を使用することができる。このため、前述の特許第 3 1 5 2 1 8 2 号に記載されているように、犠牲層がシリコンで形成され、エッチング液としてフッ硝酸が使用される必要がない。このため、本実施例に係る熱光学位相シフタは、特許第 3 1 5 2 1 8 2 号に記載されている熱光学位相シフタと比較して、製造が容易である。

次に、本発明の第 4 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 6 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 6 B は図 6 A に示される A 4 - A 4 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。

第 4 実施例は、第 2 実施例と第 3 実施例とを組み合わせた実施例である。図 6 A 及び 6 B に示されるように、本実施例において、犠牲層 2 (図 4 D 参照) と光導波路 1 4 の作製方法は、第 3 実施例と同様であるが、本実施例では、犠牲層 2 の一部が残され、支柱 2 a が形成される。残された犠牲層 2 の幅は、エッチング速度を予め明らかにしておくことで、エッチング時間を調整することにより制御することができる。支柱 2 a が形成される理由は第 2 実施例において説明されたとおりであり、低消費電力化の効果は小さくなるが、強度を向上させることができる。このため、熱光学位相シフタに大きな機械的強度が必要不可欠な場合には、第 3 実施例に係る熱光学位相シフタに替わって使用されることができ、これにより、強度の確保と低消費電力化とのバランスをとることができる。

次に、本発明の第 5 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 7 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 7 B は図 7 A に示される A 5 - A 5 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。

- 5 また、図 8 A 乃至 8 D は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法を示す熱光学位相シフタの断面図である。第 1 実施例においては、薄膜ヒータ 6 が上側クラッド層 5 の表面に形成されるが、本実施例においては、薄膜ヒータ 6 が下側クラッド層 3 の内部に形成されている。即ち、下側クラッド層 3 が犠牲層 2 上に形成されている第 1 下側クラッド層 9 と、この第 1 下側クラッド層 9 上に形成されている第 2 下側クラッド層 10 とを備え、第 1 下側クラッド層 9 上に薄膜ヒータ 6 が形成されている。この薄膜ヒータ 6 を埋め込むように、第 2 下側クラッド層 10 が形成されている。また、第 2 下側クラッド層 10 及び上側クラッド層 5 には、薄膜ヒータ 6 の電極部分 6 a に電力を供給するためのビア 11 が設けられている。

- 次に、第 5 実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法について説明する。先ず、図 8 A に示されるように、基板 1 上に犠牲層 2 が形成された後、第 1 下側クラッド層 9 が成膜され、薄膜ヒータ 6 の材料となるクロム膜が成膜され、パターニングされる。次に、図 8 B に示されるように、第 2 下側クラッド層 10 が成膜されて薄膜ヒータ 6 を埋め込み、コア 4 の材料となる薄膜 4 a の成膜が行われる。次に、図 8 C に示されるように、薄膜 4 a をパターニングしてコア 4 が形成され、上側クラッド層 5 が成膜される。次に、図 8 D に示されるように、溝 8 が

形成され、犠牲層 2 がエッチングされる。上側クラッド層 5 及び第 2 下側クラッド層 10 に、薄膜ヒータ 6 に接続される電極用ビア 11 が形成される。電極用ビア 11 の形成はフォトリソグラフィ及び R I E により行われる。

- 5 これにより、図 7 A 及び B に示されるな熱光学位相シフタが形成されることが出来る。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、第 1 実施例と同様である。

第 1 乃至第 4 各実施例においては、溝 8 が形成される際に使用されるレジスト 7 (図 2 D 参照) が、溝 8 が形成された後も残され、犠牲層 2 のエッチング時に薄膜ヒータ 6 を保護するために使用されている。しかしながら、光導波路が形成される材料が半導体等である場合、犠牲層のエッチングに強酸が使用されることがあり、レジストが強酸に耐えられない場合がある。そのため、薄膜ヒータ 6 を下側クラッド層 3 中に設けることにより、薄膜ヒータ 6 を強酸から保護することが出来る。この結果、熱光学位相シフタの製造が容易になり、信頼性が向上する。

次に、本発明の第 6 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 9 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 9 B は図 9 A に示される A 6 - A 6 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。本実施例は第 2 実施例と第 5 実施例とを組み合わせた実施例である。即ち、図 9 A 及び 9 B に示されるように、基板 1 と光導波路 14 との間の隙間 15 に、P S G からなる支柱 2 a が設けられている。支柱 2 a の形成方法は第 2 実施例と同様である。また、本実施例における上記

以外の構成及び製造方法は、第 5 実施例と同様である。本実施例においては、大きな機械的強度を確保できると共に、犠牲層がエッチングされる際に、レジストによらずに薄膜ヒータを保護することができる。

- 5 次に、本発明の第 7 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 10 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 10 B は図 10 A に示される A 7 - A 7 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。また、図 11 A 乃至 11 D は本実施例に係る熱光
- 10 学位相シフタの製造方法を示す熱光学位相シフタの断面図である。本実施例は第 3 実施例と第 5 実施例とを組み合わせた実施例である。第 5 実施例においては、犠牲層 2 が基板 1 上の全面に形成され、犠牲層 2 と下側クラッド層 3 とは連続的に成膜されたが、本実施例においては、
- 15 第 3 実施例と同様に、犠牲層 2 は薄膜ヒータ 6 の下方に相当する領域のみに設けられる。即ち、図 10 A 及び 10 B に示されるように、本実施例においては、光導波路 14 の下側クラッド層 3 が第 1 下側クラッド層 9 及び第 2 下側クラッド層 10 とを備え、両者の間に薄膜ヒータ
- 20 6 が配置されている。本実施例における上記以外の構成は、第 3 実施例と同様である。

- 次に、第 7 実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法について説明する。まず、図 11 A に示されるように、第 3 実施例と同様に、基板 1 の表面に選択的に犠牲層 2
- 25 が形成される。次に、図 11 B に示されるように、第 5 実施例と同様に、基板 1 及び犠牲層 2 上に第 1 下側クラッド層 9、薄膜ヒータ 6、第 2 下側クラッド層 10 及び

薄膜 4 a が形成される。次に、図 1 1 C に示されるように、薄膜 4 a をパターンニングしてコア 4 が形成され、このコア 4 を覆うように、上側クラッド層 5 が形成される。次に、図 1 1 D に示されるように、上側クラッド層 5 上にレジスト 7 が形成され、このレジスト 7 をマスクとして用いて、上側クラッド層 5、下側クラッド層 3 がエッチングされ、溝 8 が形成される。次に、図 1 0 A 及び 1 0 B に示されるように、溝 8 を介して犠牲層 2 がエッチングされて除去され、隙間 1 5 が形成される。上側クラッド層 5 及び第 2 下側クラッド層 1 0 に、電極用ビア 1 1 が形成される。

本実施例においては、第 3 実施例と同様の理由により、犠牲層の応力を解放して、光学特性及び機械的強度の改善を図ることができる。また、第 5 実施例と同様な理由により、エッチング時に薄膜ヒータ 6 を保護することができる。

次に、本発明の第 8 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 1 2 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 2 B は図 1 2 A に示される A 8 - A 8' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。図 1 2 A 及び B に示されるように、本実施例は第 4 実施例と第 5 実施例とを組み合わせた実施例であり、換言すれば、本実施例は第 2 実施例と第 7 実施例とを組み合わせた実施例である。本実施例においては、隙間 1 5 において、犠牲層 2 の一部が残されて、P S G からなる支柱 2 a が形成されている。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、第 7 実施例と同様である。本

実施例においては、光学特性及び機械的強度の向上を図ることができると共に、エッチング時に薄膜ヒータ 6 を保護することができる。

次に、本発明の第 9 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 1 3 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 3 B は図 1 3 A に示される A 9 - A 9' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図であり、図 1 3 C は図 1 3 A に示される B 9 - B 9' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。図 1 3 A 及び B に示されるように、本実施例の熱光学位相シフタにおいては、溝 8 における長手方向、即ちコア 4 が延びる方向に平行な側面のうち、コア 4 に近い側の側面 8 a が、長手方向端部において、端部 8 b に近づくにつれてコア 4 から離れるようにテーパ状に湾曲している。これにより、橋梁部光導波路 1 4 の橋梁部 1 4 a における根元部 1 4 b が、橋梁部 1 4 a における根元部 1 4 b 以外の部分よりも太くなっている。また、隙間 1 5 における根元部 1 4 b の下方に相当する領域においては、犠牲層 2 がエッチング時に残こされ、支柱 2 a が形成されている。本実施例における上記以外の構成は、第 1 実施例と同様である。

第 1 実施例に係る熱光学位相シフタにおいて、機械的に最も弱い部分は光導波路 1 4 の橋梁部 1 4 a における根元部 1 4 b であり、この部分に最も機械的ストレスが集中すると考えられる。第 9 実施例においては、この根元部 1 4 b がテーパ状の形状とされることにより、補強が行われている。これにより、熱光学位相シフタの信頼性

をより一層向上させることができる。また、本実施例に係る熱光学位相シフタを製造するためには、第1実施例において、レジスト7がパターンニングされる際のフォトリソグラフィマスクパターンを変更すればよく、マスク形状以外に第1実施例における熱光学位相シフタの作製工程を変更することなく、第1実施例と同様に自己形成工程により、熱光学位相シフタが形成されることができる。

次に、本発明の第10実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図14Aは本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図14Bは図14Aに示されるA10-A10'線に沿った熱光学位相シフタの断面図であり、図14Cは図14Aに示されるB10-B10'線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。図14A乃至14Cに示されるように、第10実施例においては、光導波路14の橋梁部14aの途中に、光導波路14をクラッド層13に対して支持する補強梁16が設けられている。補強梁16は、コア4が延びる方向に直交する方向に延びており、溝8を張架するように設けられている。本実施例における上記以外の構成は、第1実施例と同様である。

第1実施例においては、光導波路14の橋梁部14aが長手方向に長くなった場合、橋梁部14aの横方向、即ち、コア4が延びる方向に直交する方向における自由度が大きくなり、場合によっては途中で光導波路14が曲がり、伝搬損失が増大するか、又はクラッド層13における光導波路14以外の部分若しくは基板1と接触し

て断熱性が損なわれてしまう可能性がある。

これに対して、本実施例においては、補強梁 16 を設けることにより、橋梁部 14 a の横方向における自由度が制約されている。これにより、光導波路 14 が外力を受けたときに、橋梁部 14 a が横方向に撓むことを防止でき、熱光学位相シフタの信頼性が向上する。このような構造とすることにより、断熱性が多少損なわれることが考えられるが、補強梁 16 が形成される材料の熱伝導性が十分に低い場合には、基板 1 までの熱伝導パスが長いこともあり、あまり大きな熱伝導パスにはならない。

なお、本実施例に係る熱光学位相シフタを製造するためには、第 1 実施例において、レジスト 7 がパターニングされる際のフォトリソグラフィマスクパターンを変更すればよく、マスク形状以外に第 1 実施例における熱光学位相シフタの作製工程を変更することなく、第 1 実施例と同様に自己形成工程により、熱光学位相シフタが形成されることができる。なお、補強梁 16 の数は左右 1 本ずつに限定されず、左右に複数本ずつ設けてもよい。

次に、本発明の第 11 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 15 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 15 B は図 15 A に示される A 11 - A 11' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図であり、図 15 C は図 15 A に示される B 11 - B 11' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。図 15 A 乃至 15 C に示されるように、第 11 実施例においては、光導波路 14 の橋梁部 14 a の長手方向中央部の下方において、隙間 15 に支柱 2 a が設けられている。

支柱 2 a は犠牲層 2 (図 1 D 参照) と同じ材料、即ち、
PSG により形成されている。支柱 2 a は、基板 1 上に
設けられ、光導波路 1 4 を基板 1 に対して支持し、橋梁
部 1 4 a の上下方向の自由度を制約している。なお、橋
5 梁部 1 4 a における支柱 2 a の上方に相当する部分 1 4
c は、他の部分よりも幅が大きくなっている。

第 1 実施例においては、光導波路 1 4 の橋梁部 1 4 a
が長手方向に長くなった場合、橋梁部 1 4 a の横方向に
おける自由度が大きくなり、場合によっては途中で光導
10 波路 1 4 が曲がり、伝搬損失が増大するか、又は基板 1
と接触して断熱性が損なわれてしまう可能性がある。

そこで、第 1 1 実施例においては、適当な位置に支柱
を設けることで、これを防ぐことができる。このような
構造とすることにより、断熱性が損なわれることが考え
15 られるが、支柱が基板よりも熱伝導性が低い PSG によ
り形成されており、また支柱の大きさも縦及び横が夫々
10 μm 程度であれば、十分に熱伝導性が低く、それほど
大きな熱伝導パスにはならない。また、第 9 及び第 1
0 実施例と同様に、本実施例に係る熱光学位相シフトを
20 製造するためには、第 1 実施例において、レジスト 7 が
パターンニングされる際のフォトリソグラフィマスクパタ
ーンが変更され、光導波路 1 4 に、他の部分よりも幅が
広い部分 1 4 c が形成されるようにすればよい。これに
より、犠牲層 2 のエッチング時に、部分 1 4 c の下方に
25 おいて犠牲層 2 が残り、支柱 2 a が形成される。このよ
うに、本実施例においては、マスク形状以外に第 1 実施
例における熱光学位相シフトの作製工程を変更すること

なく、第 1 実施例と同様に自己形成工程により、熱光学位相シフタが形成されることができる。なお、支柱 2 a の数は 1 個に限定されず、複数個設けてもよい。

次に、本発明の第 1 2 実施例について説明する。図 1 6 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 6 B は図 1 6 A に示す A 1 2 - A 1 2 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図であり、図 1 6 C は図 1 6 A に示される B 1 2 - B 1 2 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。図 1 6 A 乃至 1 6 C に示されるように、本実施例は第 1 0 実施例と第 1 1 実施例とを組み合わせた実施例である。本実施例においては、橋梁部 1 4 a の途中に、梁 1 6 及び支柱 2 a が設けている。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、第 1 実施例と同様である。

第 9、第 1 0 及び第 1 1 実施例の構造では強度不足となるような環境で熱光学位相シフタが使用される場合、本実施例のような構造を採用することにより、橋梁部 1 4 a の横方向の自由度及び上下方向の自由度の双方を制約することができる。こうして、消費電力の低減を多少犠牲にしつつも、強度を確保することが可能となる。本構造への変更は、エッチング用の溝が形成されるときに用いられるフォトリソグラフィマスクパターンを変更すれば良いだけであり、作製工程の変更無く自己形成工程で実現できる。

次に、本発明の第 1 3 実施例に係る熱光学位相シフタについて説明する。図 1 7 A は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、図 1 7 B は図 1 7 A に示さ

れる A 1 3 - A 1 3 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図であり、図 1 7 C は図 1 7 A に示す B 1 3 - B 1 3 ' 線に沿った熱光学位相シフタの断面図である。また、図 1 8 A 乃至 1 8 D は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法を示す熱光学位相シフタの断面図であり、図 1 9 は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法における図 1 8 C に示す工程を示す平面図である。

図 1 7 A 乃至 1 7 C に示されるように、本実施例に係る熱光学位相シフタにおいては、隙間 1 5 の一部に支柱 1 2 が形成されている。支柱 1 2 は、犠牲層 2 (図 1 D 参照) よりもエッチング速度が大きい材料で形成されており、例えば、犠牲層 2 が P S G により形成されている場合、支柱 1 2 は例えば B P S G により形成されている。支柱 1 2 は橋梁部分 1 4 a の長手方向の一部に設けられており、橋梁部分 1 4 a を基板 1 に対して支持し、上下方向の自由度を制約している。

次に、本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法について説明する。先ず、図 1 8 A に示されるように、基板 1 上に、例えば P S G により犠牲層 2 が形成される。フォトリソグラフィ及び R I E により、犠牲層 2 の一部が除去され、その部分に B P S G 膜が埋め込まれ、支柱 1 2 が形成される。次に、図 1 8 B に示されるように、第 1 実施例と同様な方法により、下側クラッド層 3 及び薄膜 4 a が形成される。次に、図 1 8 C 及び図 1 9 に示されるように、薄膜 4 a がパターンニングされてコア 4 が形成され、上側クラッド層 5 が形成される。続いて、図 1 8 D に示されるように、上側クラッド層 5 上に薄膜ヒ

一タ 6 が形成される。次に、図 1 7 A 乃至 C に示されるように、光導波路 1 4 を挟む位置に 2 本の溝 8 が形成され、光導波路 1 4 の下方における犠牲層 2 がエッチングされて除去され、隙間 1 5 が形成される。このとき、B
5 P S G からなる支柱 1 2 はエッチングされずに残る。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、第 1 実施例と同様である。

上述の如く、第 1 1 実施例においては、犠牲層のサイドエッチングを所望の時間で止めることにより支柱を形成されたが、第 1 3 実施例では、犠牲層の一部に犠牲層
10 のエッチングの時にエッチングされない材料で支柱部が形成されている。これにより、例えば犠牲層のエッチング速度が極めて速く、途中でエッチングを止めることが困難な場合等に、支柱が自己形成されるために、作製工
15 程の信頼性及び再現性を向上させることができる。

なお、前述の各実施例においては、光導波路が埋め込み型導波路である場合について説明されたが、本発明の熱光学位相シフタにおける光導波路の構造はこれに限定
20 されず、例えばリッジ型の導波路においても、本発明の効果が十分に期待できる。

また、薄膜ヒータの形状も 1 本の直線状の形状に制限されるものではなく、複数の直線を組み合わせた形状又は曲線形状であってもよく、光導波路のコアを所望の温度に上昇させることができ、屈折率変化を誘起できる熱
25 が発生できればよい。また、支柱部が設けられる場合の橋梁部光導波路の幅は、支柱部が設けられない場合の橋梁部光導波路の幅より狭くてもよい。

また、熱光学位相シフタの製造にあたっては、犠牲層のエッチングにおいて、フッ化水素酸水溶液あるいは緩衝フッ化水素酸水溶液を使用することができ、犠牲層は、常圧化学気相堆積法あるいはプラズマ化学気相堆積法を使用することができることは明らかであろう。更に、支柱部を有する個所の橋梁部光導波路の幅は、支持部を有しない橋梁部導波路の幅より広くても、強度的には問題がないことは明らかであろう。

以上詳述されたように、本発明によれば、熱光学位相シフタにおいて、基板上にコアとクラッド層からなる光導波路が形成され、基板と光導波路との間に $4\text{ }\mu\text{m}$ 以上の隙間を設けることにより、光導波路の基板に対する断熱性が改善される。また、光学特性並びに強度、安定性及び信頼性が良好で、消費電力が小さい。加えて、この熱光学位相シフタは、大規模電子集積回路に一般的に使用されている手法により容易に製造することができる。このため、本発明は、光回路の小型化、高機能化及び大規模化を実現する上で極めて有用である。

請求の範囲

1. 基板と、

ヒータと、

前記基板の直接的又は間接的に上に設けられたクラッド層と、

5

前記ヒータに対応する部位において、前記基板と前記クラッド層から離れて形成された橋梁部クラッド層と、前記橋梁部クラッド層は前記ヒータ対応部位以外において前記クラッド層に接続され、

10 前記橋梁部クラッド層の内部に設けられたコアとを具備し、

前記橋梁部クラッド層と前記コアは、前記ヒータ対応部位において橋梁部光導波路を形成し、

15 前記ヒータは、前記ヒータ対応部位において前記橋梁部光導波路の内部又は外部に前記コアから離なれて設けられていて、前記橋梁部光導波路を伝播する光信号の位相を変更するように熱を発生する熱光学位相シフタ。

20 2. 請求項1に記載の熱光学位相シフタにおいて、

前記橋梁部クラッド層と前記基板との距離は、 $4\mu\text{m}$ 以上である熱光学位相シフタ。

25 3. 請求項1又は2に記載の熱光学位相シフタにおいて、

前記コア、前記クラッド層及び前記橋梁部クラッド層

が石英を含むガラス材料により形成されている
熱光学位相シフト。

4. 請求項3に記載の熱光学位相シフトにおいて、

5 前記コアが形成されるガラス材料がゲルマニウムを含む
熱光学位相シフト。

5. 請求項1及至4のいずれかに記載の熱光学位相シ
10 フタにおいて、

前記基板が石英を含むガラス材料又はシリコンにより
形成されている
熱光学位相シフト。

15 6. 請求項1乃至5のいずれかに記載の熱光学位相シ
フトにおいて、

前記クラッド層は、犠牲層を介して前記基板上に形成
され、

前記犠牲層は、前記基板よりもエッチング速度が大き
20 い材料により形成されている
熱光学位相シフト。

7. 請求項6に記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記犠牲層は、前記基板より熱伝導率が小さい材料で
25 形成されている
熱光学位相シフト。

8. 請求項 6 又は 7 に記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記犠牲層は、リンを含むガラス材料で形成され、

前記クラッド層は、ボロン及びリンを含むガラス材料

5 で形成されている

熱光学位相シフト。

9. 請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の熱光学位相シフトにおいて、

10 前記クラッド層は、前記基板の直接的に上に形成されている

熱光学位相シフト。

10. 請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記ヒータが前記橋梁部クラッド層の上に設けられている

熱光学位相シフト。

20 11. 請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記ヒータが前記橋梁部クラッド層中に前記コアから離れて設けられている

熱光学位相シフト。

25

12. 請求項 11 に記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記ヒータが前記橋梁部クラッド層中で前記コアの下

に設けられている
熱光学位相シフト。

13. 請求項1乃至12のいずれかに記載の熱光学位
5 相シフトにおいて、

前記橋梁部クラッド層を支持するように、前記橋梁部
光導波路と前記基板との間の隙間の一部に設けられた支
持部
を更に具備する熱光学位相シフト。

10

14. 請求項13に記載の熱光学位相シフトにおいて、
前記支持部を有する個所の前記橋梁部光導波路の幅は、
前記支持部を有しない前記橋梁部導波路の幅より広い
熱光学位相シフト。

15

15. 請求項13又は14に記載の熱光学位相シフトに
おいて、

前記支持部は、前記基板より熱伝導率が小さい材料で
形成されている

20 熱光学位相シフト。

16. 請求項13乃至15のいずれかに記載の熱光学位
相シフトにおいて、

前記支持部は、前記基板よりもエッチング速度が大き
25 い材料により形成されている
熱光学位相シフト。

17. 請求項13乃至16に記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記支持部は、前記クラッド層と同じ材料で形成されている

5 熱光学位相シフト。

18. 請求項13乃至17のいずれかに記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記支持部が、前記コアが延びる方向の全長にわたって連続的に形成されている
10 熱光学位相シフト。

19. 請求項13乃至17のいずれかに記載の熱光学位相シフトにおいて、

15 前記支持部が、前記コアが延びる方向の一部に形成されている
熱光学位相シフト。

20. 請求項1乃至19のいずれかに記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記光導波路クラッド層は、前記ヒータ対応部位の端部において、中央部より広い幅を有する熱光学位相シフト。

25 21. 請求項1乃至20のいずれかに記載の熱光学位相シフトにおいて、

前記ヒータ対応部位の途中に設けられ、前記クラッド

層と前記光導波路クラッド層との間の溝に設けられ、前記クラッド層と前記光導波路クラッド層とを接続して前記光導波路を支持する支持梁を更に具備する熱光学位相シフト。

5

22. 基板上に犠牲層を形成することと、前記犠牲層は、前記基板よりも大きいエッチング速度を有し、

前記犠牲層を覆うように下側クラッド層を形成することと、前記下側クラッド層は、前記犠牲層より小さいエッチング速度を有し、

10

前記下側クラッド層上の、所定部位にコアを形成することと、

前記下側クラッド層と前記コアの上に上側クラッド層を形成することと、

15

前記上側クラッド層上の、前記所定部位に対応する部位にヒータを形成することと、

前記上側クラッド層と前記下側クラッド層を通して前記犠牲層に達するように、前記ヒータの両側の、前記所定部位に対応する部位に溝を形成することと、

20

前記溝を介して前記犠牲層の少なくとも一部を除去すること

を具備する熱光学位相シフトの製造方法。

23. 基板上的犠牲層を形成することと、前記犠牲層は、前記基板よりも大きいエッチング速度を有し、

25

前記犠牲層を覆うように第1下側クラッド層を形成することと、前記第1下側クラッド層は、前記犠牲層より

小さいエッチング速度を有し、

前記第 1 下側クラッド層上の、所定部位にヒータを形成することと、

5 前記第 1 下側クラッド層の上に第 2 下側クラッド層を形成することと、下側クラッド層は、前記下側第 1 クラッド層と前記第 2 下側クラッド層とを有し、

前記第 2 下側クラッド層上の、前記所定部位に対応する部位にコアを形成することと、

10 前記下側クラッド層と前記コアの上に上側クラッド層を形成することと、

前記上側クラッド層と前記下側クラッド層を通して前記犠牲層に達するように、前記所定部位に対応する部位に前記ヒータの両側に溝を形成することと、

15 前記溝を介して前記犠牲層の少なくとも一部を除去すること
を具備する熱光学位相シフタの製造方法。

24. 請求項 22 又は 23 に記載の熱光学位相シフタの製造方法において、

20 前記除去することは、

前記下側クラッド層と前記基板との間に前記両側の溝を接続する隙間を形成するように、前記犠牲層を除去すること

を具備する熱光学位相シフタの製造方法。

25

25. 請求項 22 又は 23 に記載の熱光学位相シフタの製造方法において、

前記除去することは、

前記所定部位に対応する部位において、前記下側クラッド層を支持する部分を残すように、前記犠牲層を除去すること

5 を具備する熱光学位相シフトの製造方法。

26. 請求項24又は25に記載の熱光学位相シフトの製造方法において、

前記除去することは、

10 フッ化水素酸水溶液又は緩衝フッ化水素酸水溶液を用いて前記犠牲層を除去すること
を具備する熱光学位相シフトの製造方法。

27. 請求項22乃至26のいずれかに記載の熱光学位相シフトの製造方法において、

15 前記犠牲層の膜厚を4 μ m以上とする
熱光学位相シフトの製造方法。

28. 請求項22乃至27のいずれかに記載の熱光学位相シフトの製造方法において、

20 前記犠牲層を形成することと、前記下側クラッド層又は前記第1下側クラッド層を形成することは、連続的に
行われる

熱光学位相シフトの製造方法。

25

29. 請求項22乃至28のいずれかに記載の熱光学位相シフトの製造方法において、

前記下側クラッド層を形成すること、前記コアを形成すること、及び前記上側クラッド層を形成することは、常圧化学気相堆積法又はプラズマ化学気相堆積法を用いて行われる

5 熱光学位相シフトの製造方法。

Fig. 1A

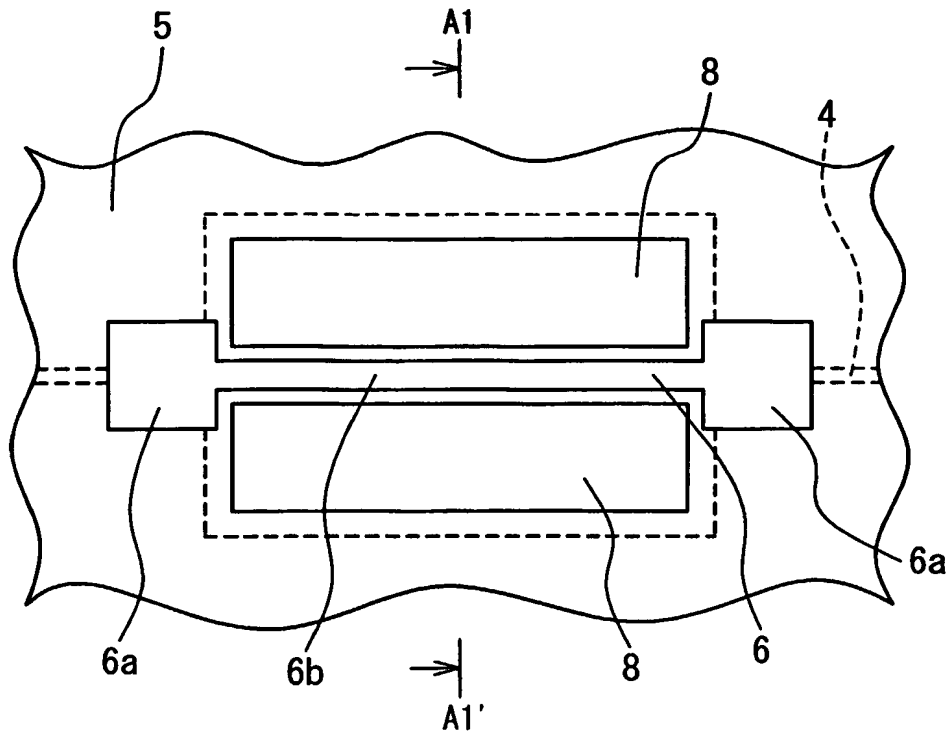


Fig. 1B

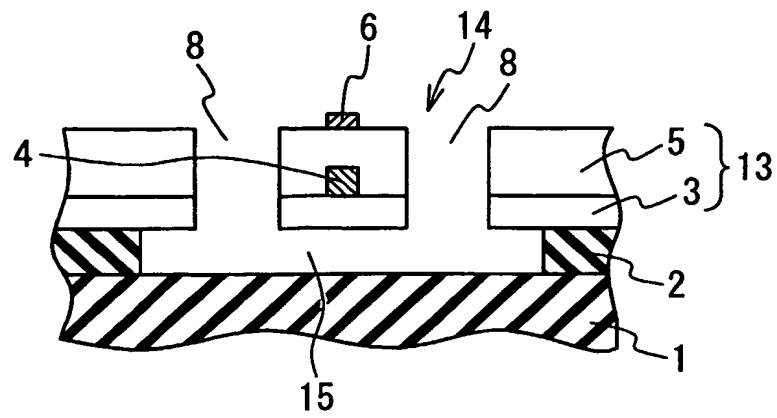


Fig. 2A

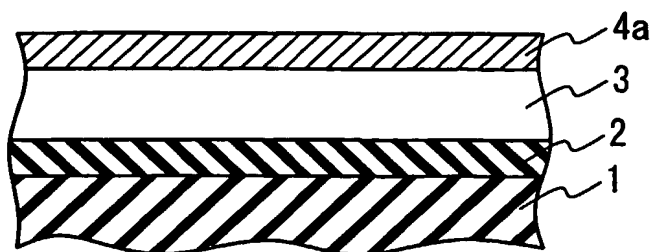


Fig. 2B

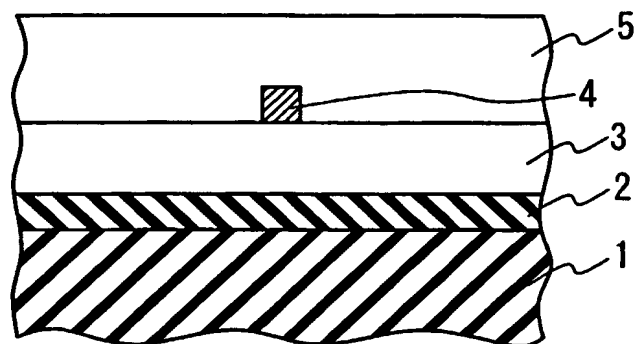


Fig. 2C

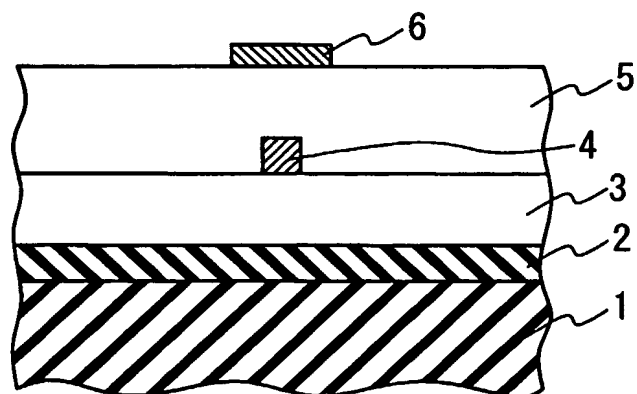


Fig. 2D

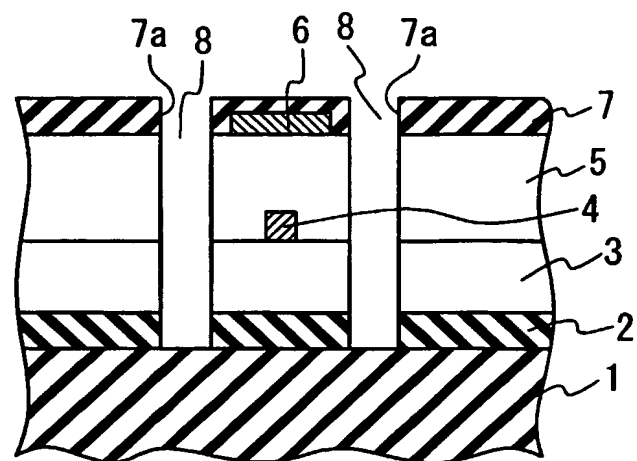


Fig. 3A

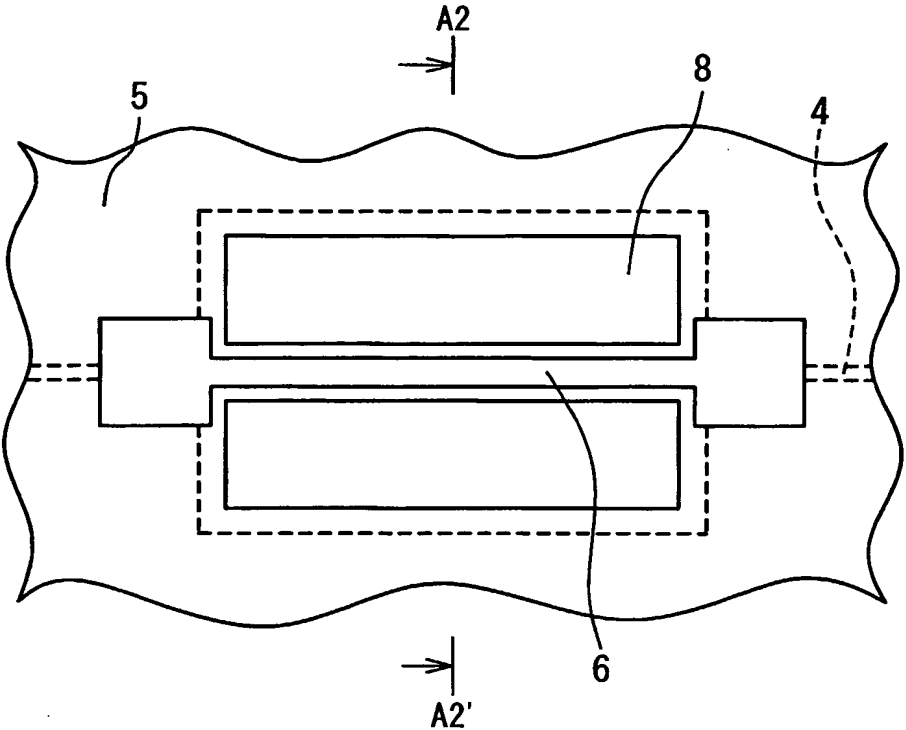


Fig. 3B

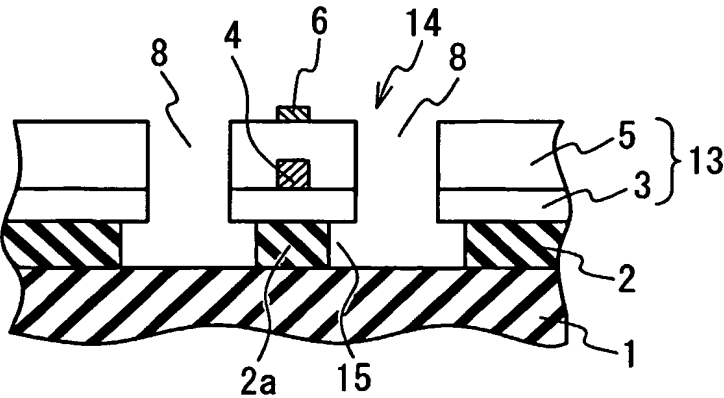


Fig. 4A

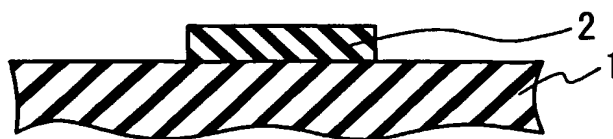


Fig. 4B

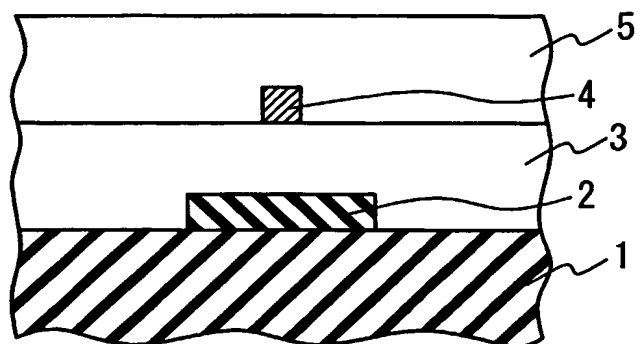


Fig. 4C

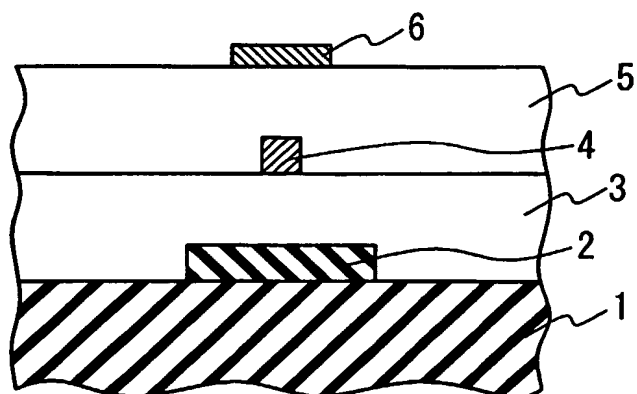


Fig. 4D

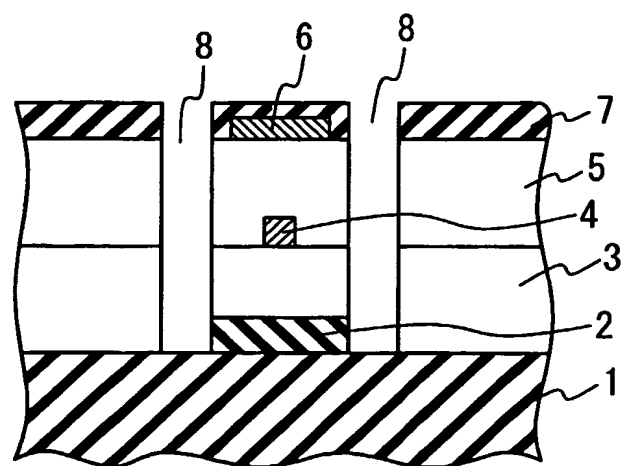


Fig. 5A

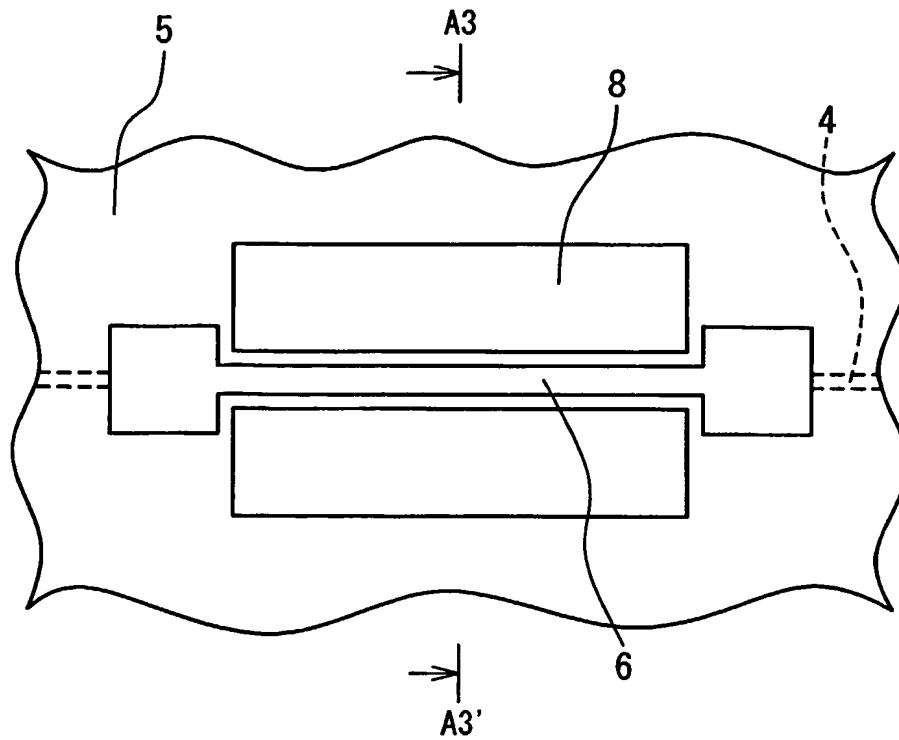


Fig. 5B

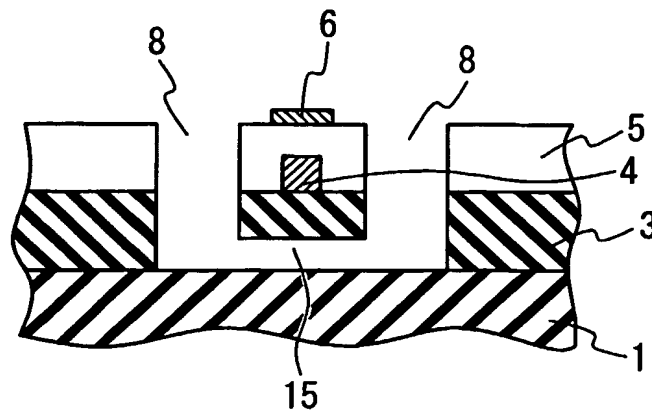


Fig. 6A

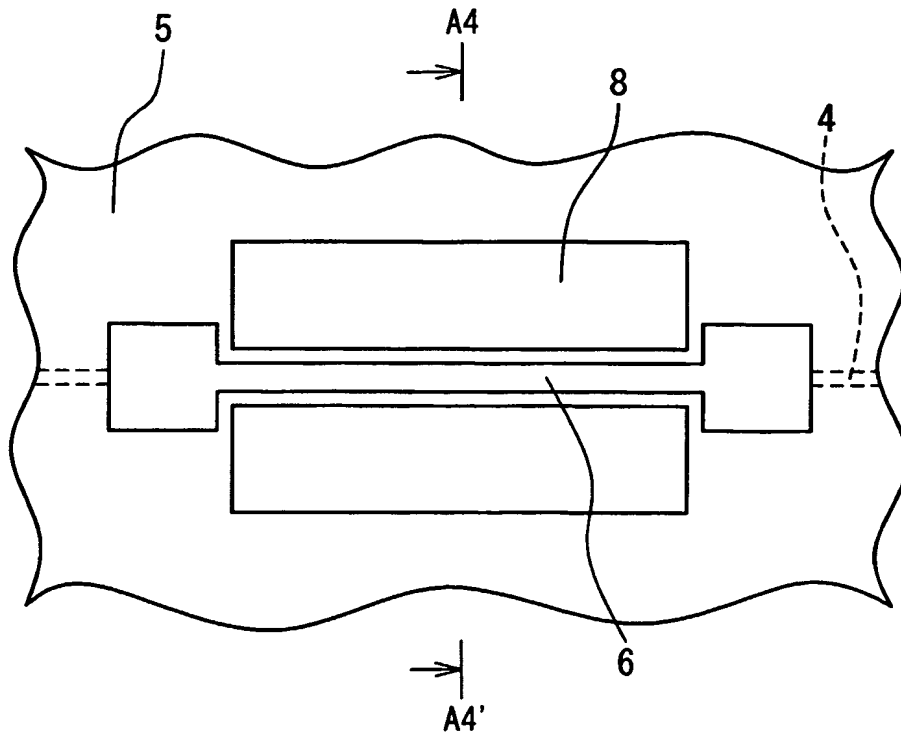


Fig. 6B

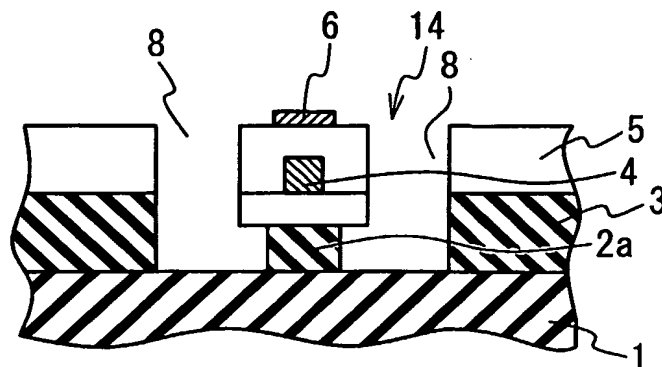


Fig. 7A

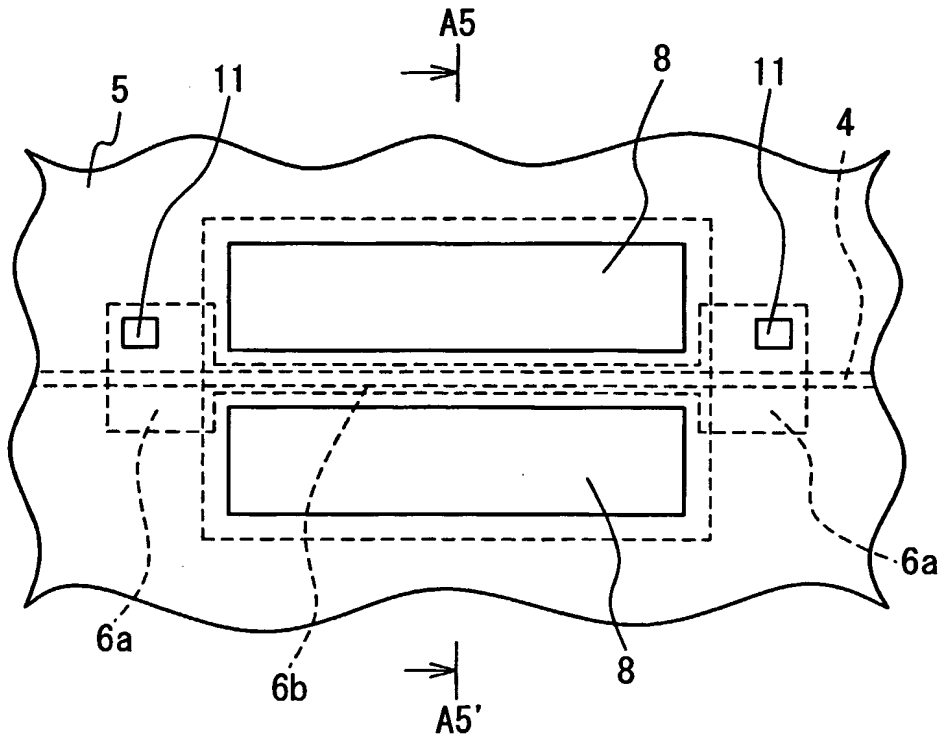


Fig. 7B

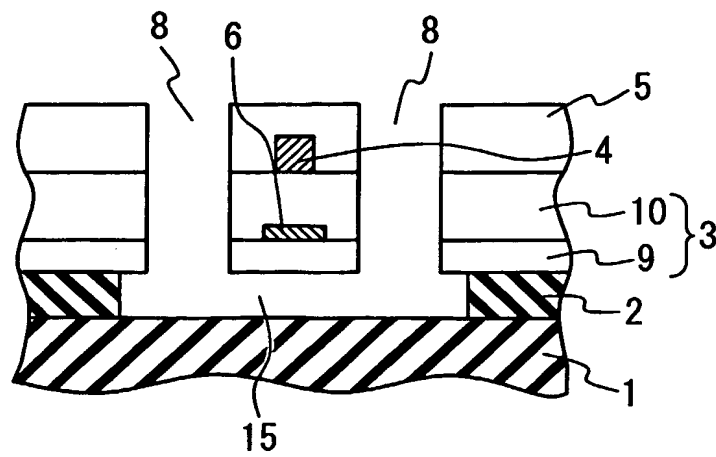


Fig. 8A

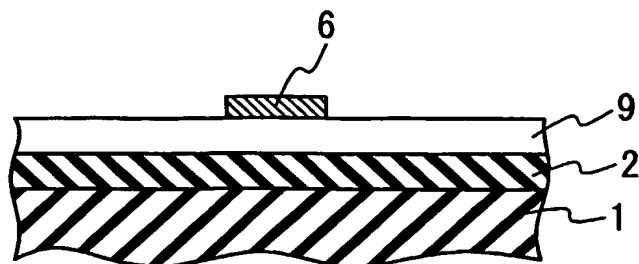


Fig. 8B

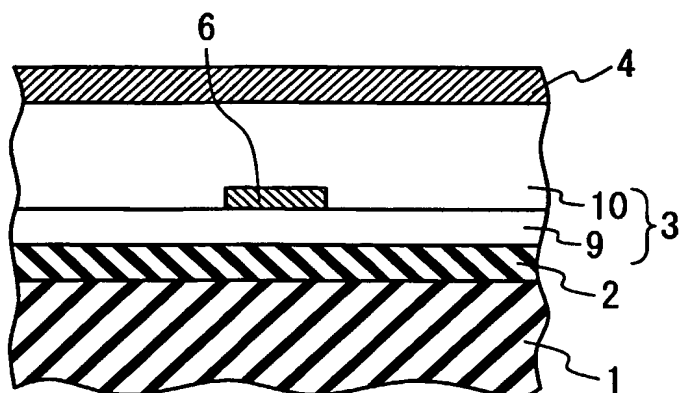


Fig. 8C

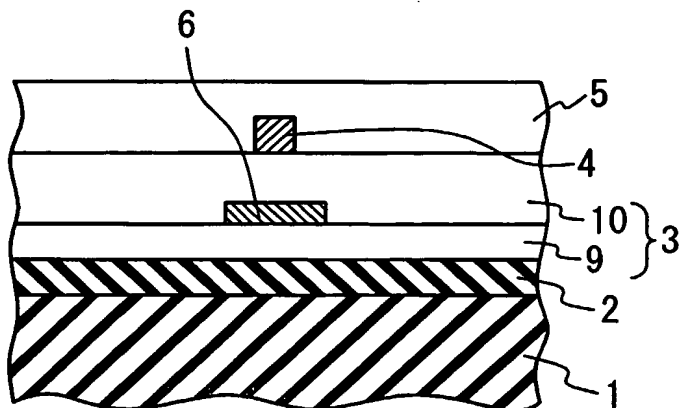


Fig. 8D

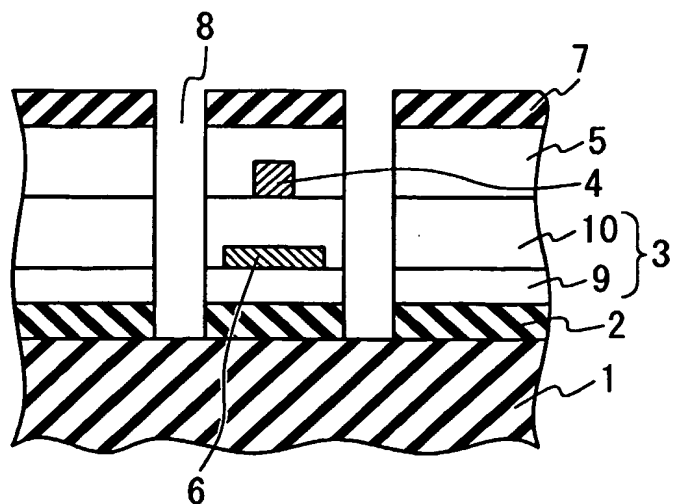


Fig. 9A

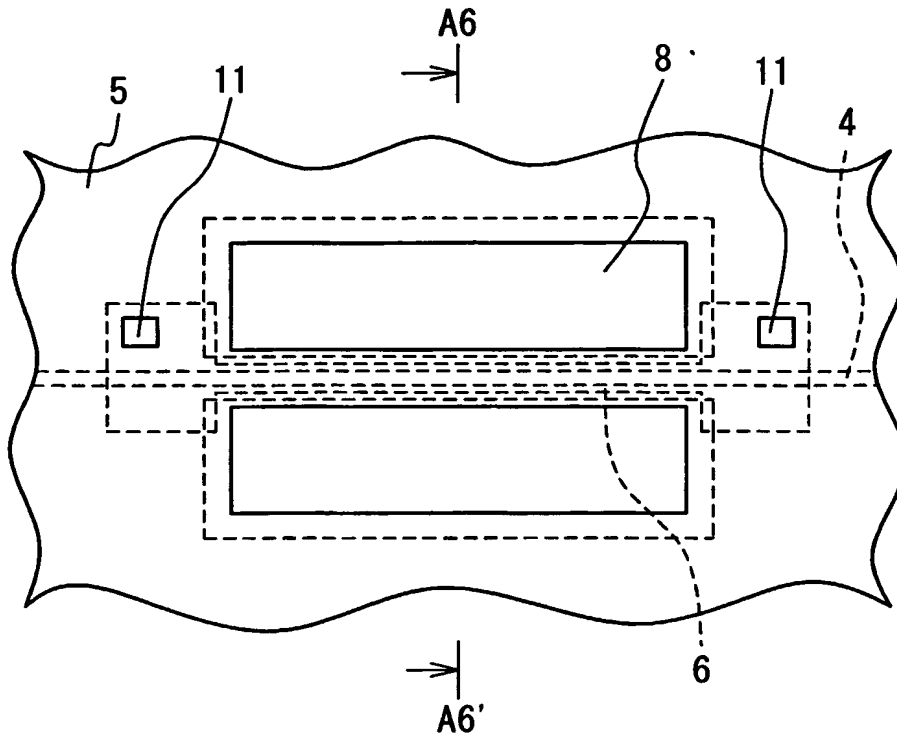


Fig. 9B

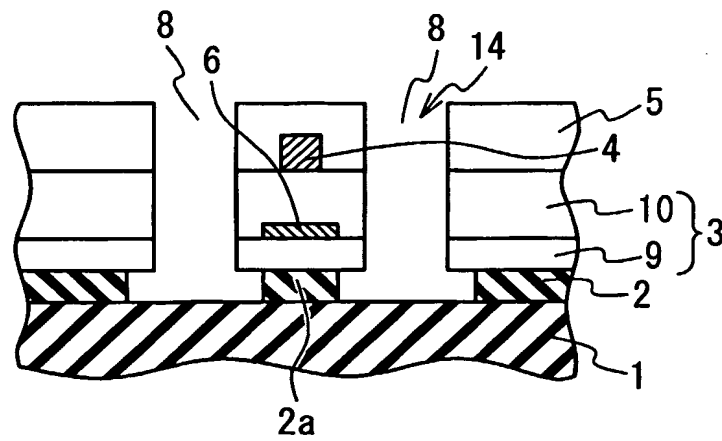


Fig. 10A

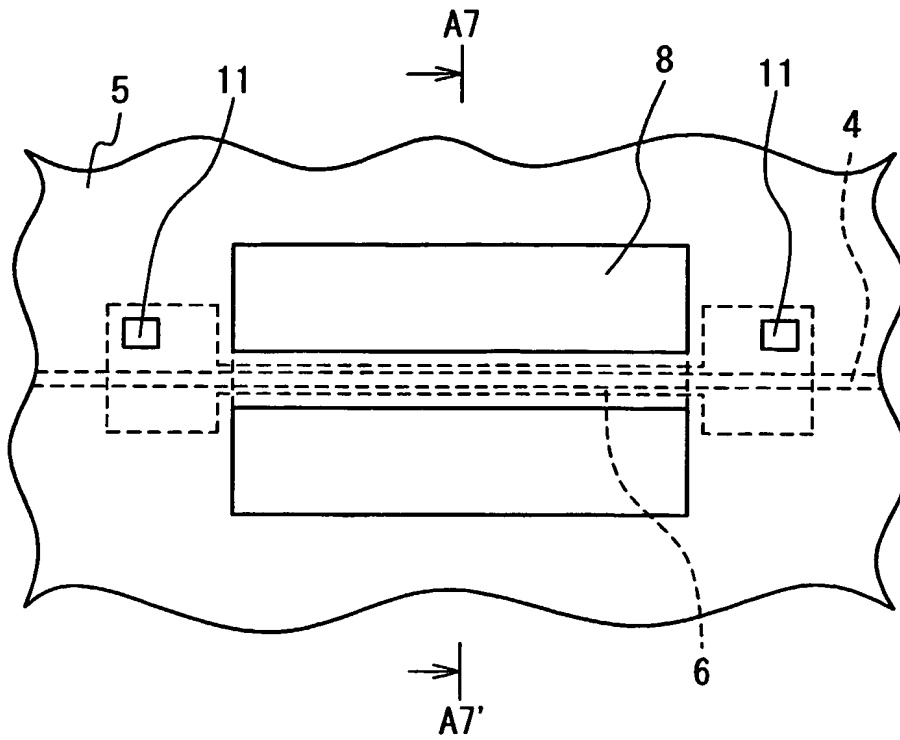


Fig. 10B

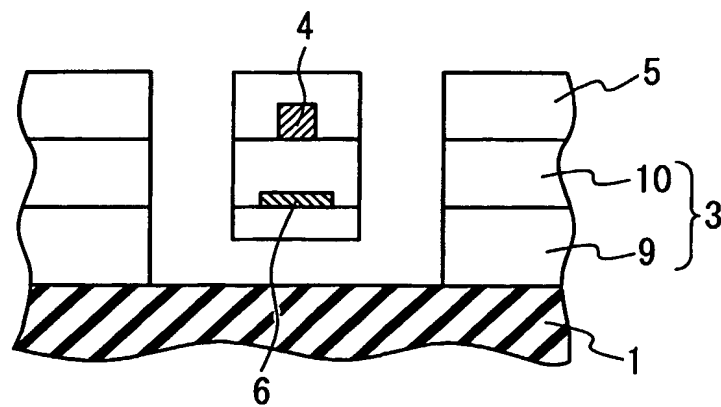


Fig. 11A

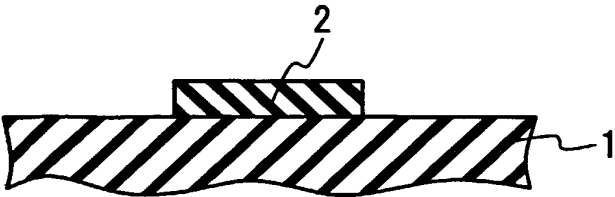


Fig. 11B

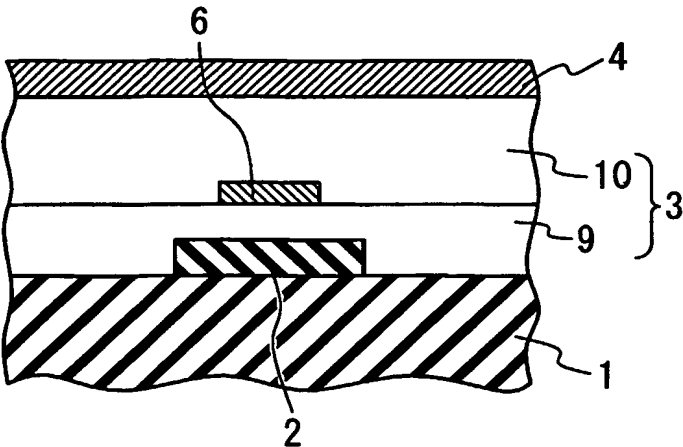


Fig. 11C

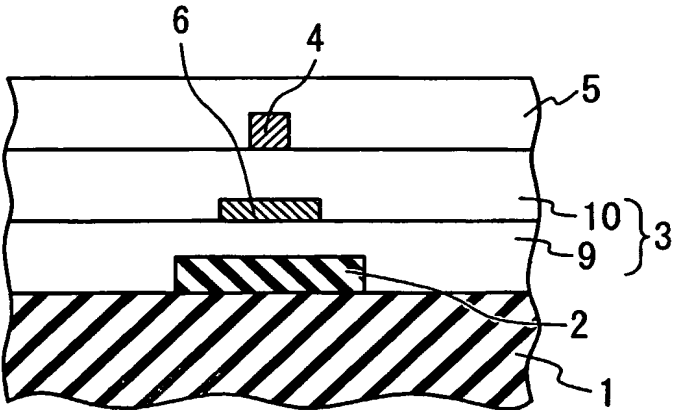


Fig. 11D

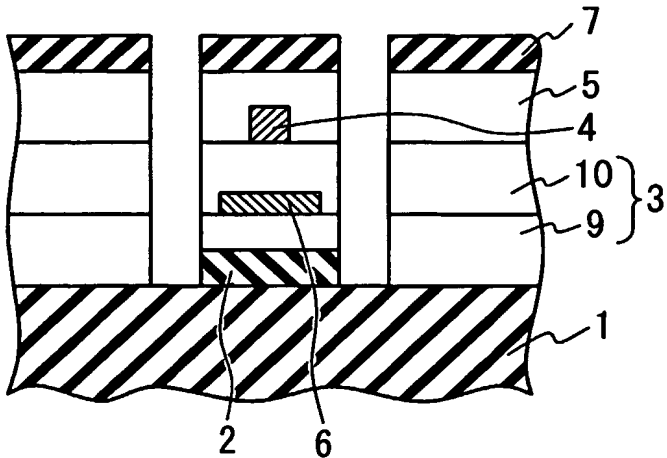


Fig. 12A

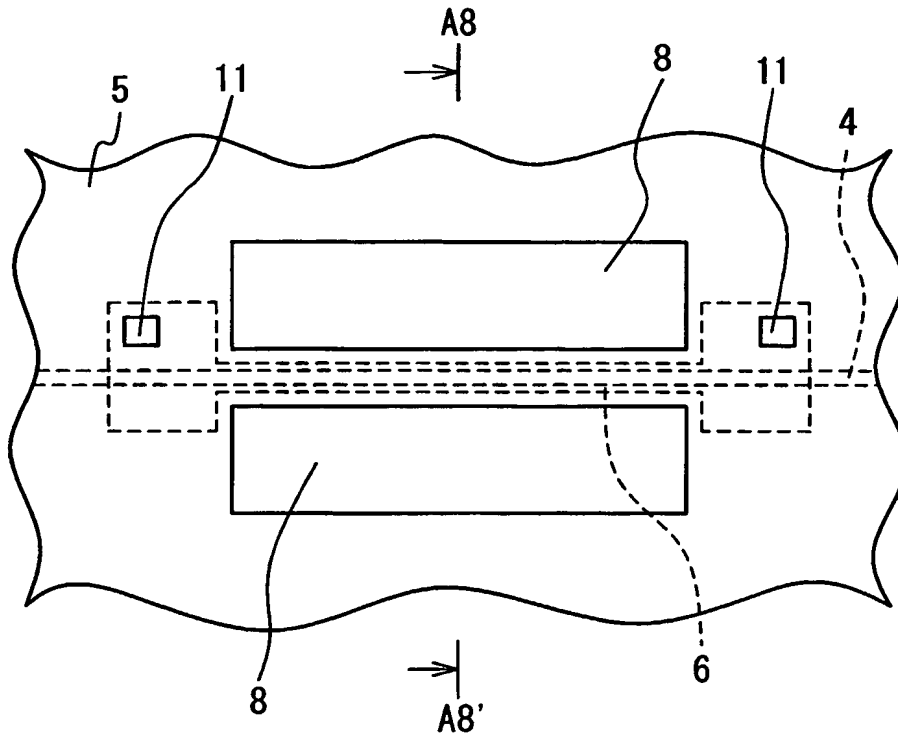


Fig. 12B

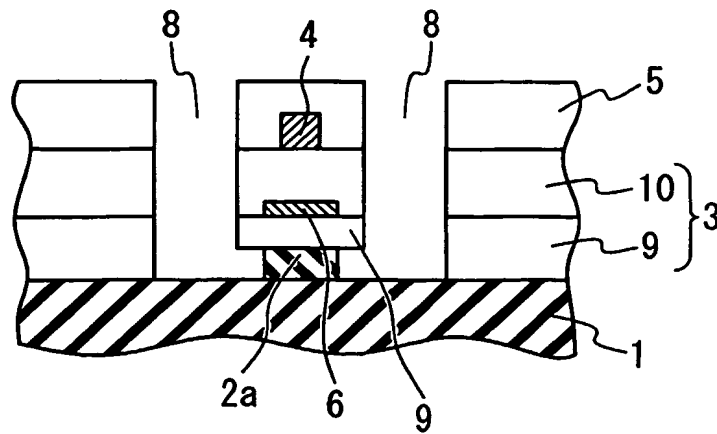


Fig. 13A

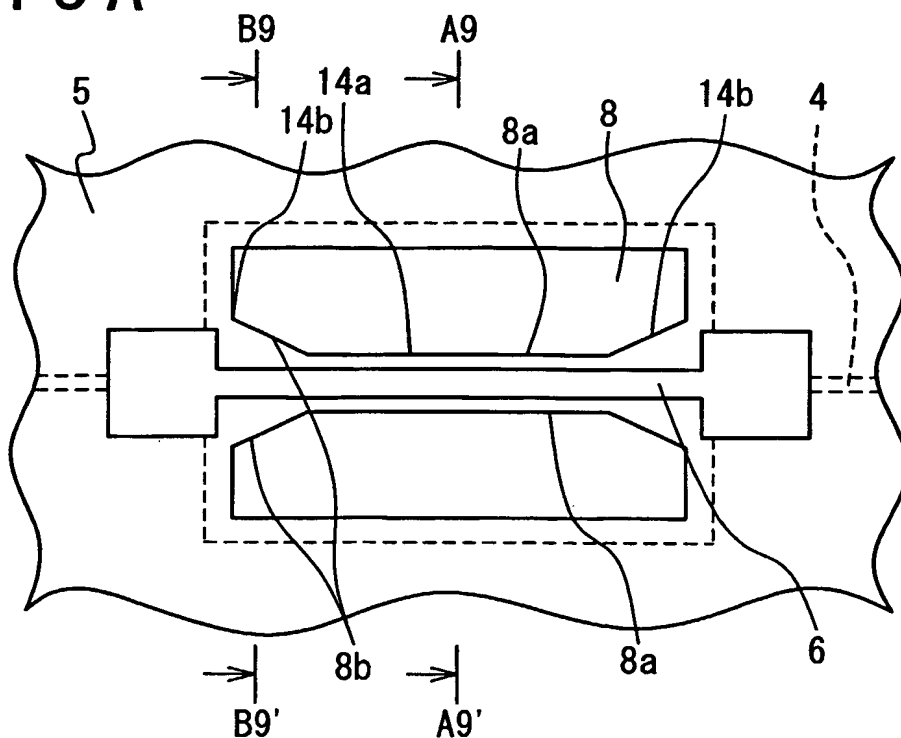


Fig. 13B

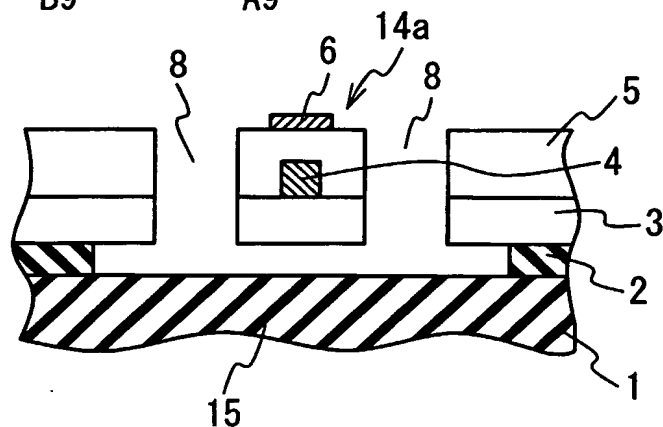


Fig. 13C

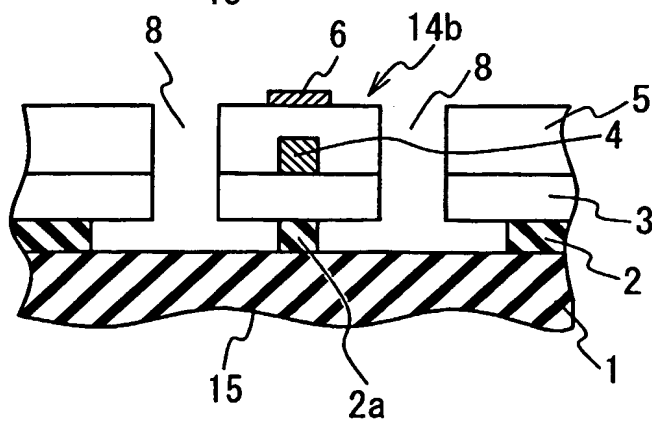


Fig. 14A

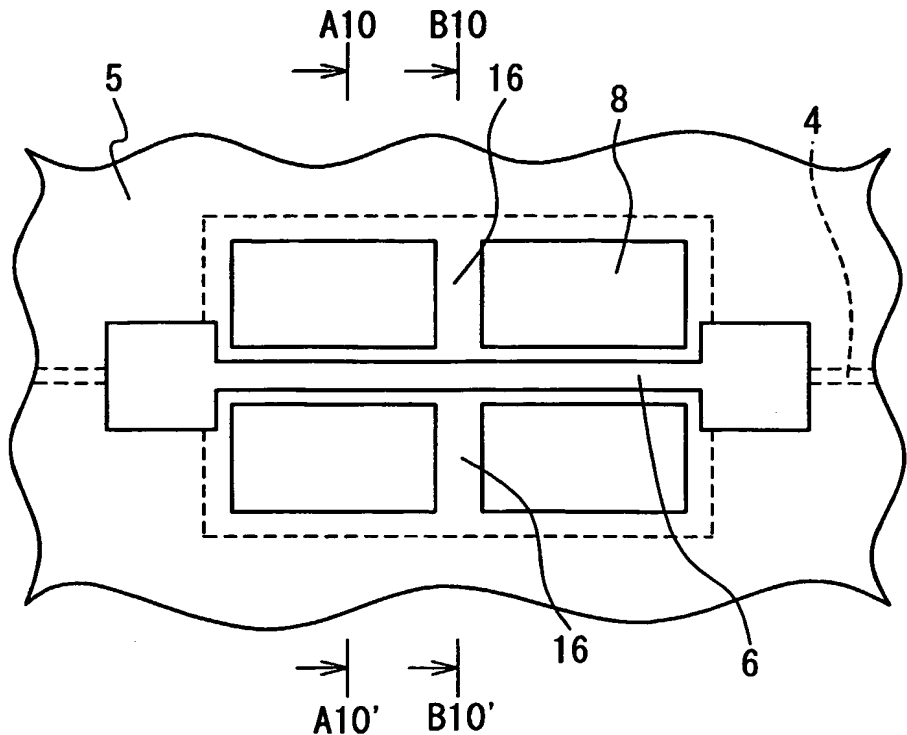


Fig. 14B

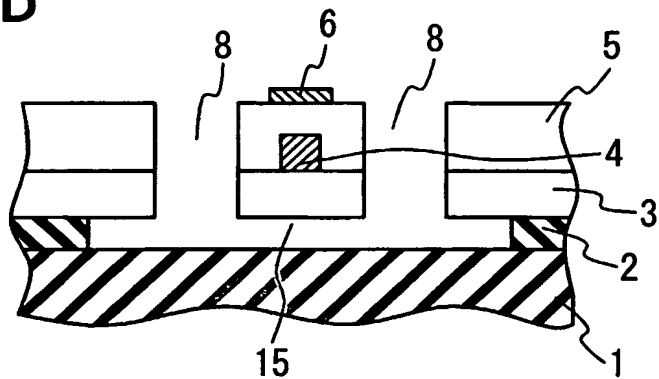


Fig. 14C

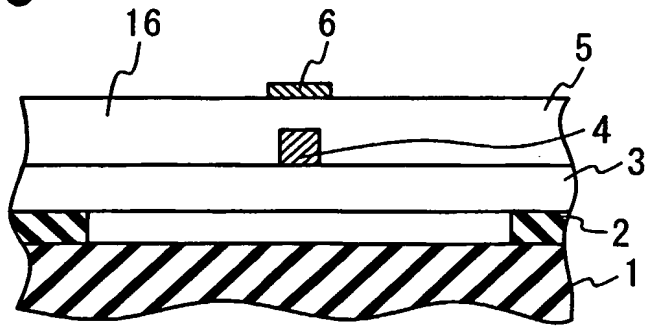


Fig. 15A

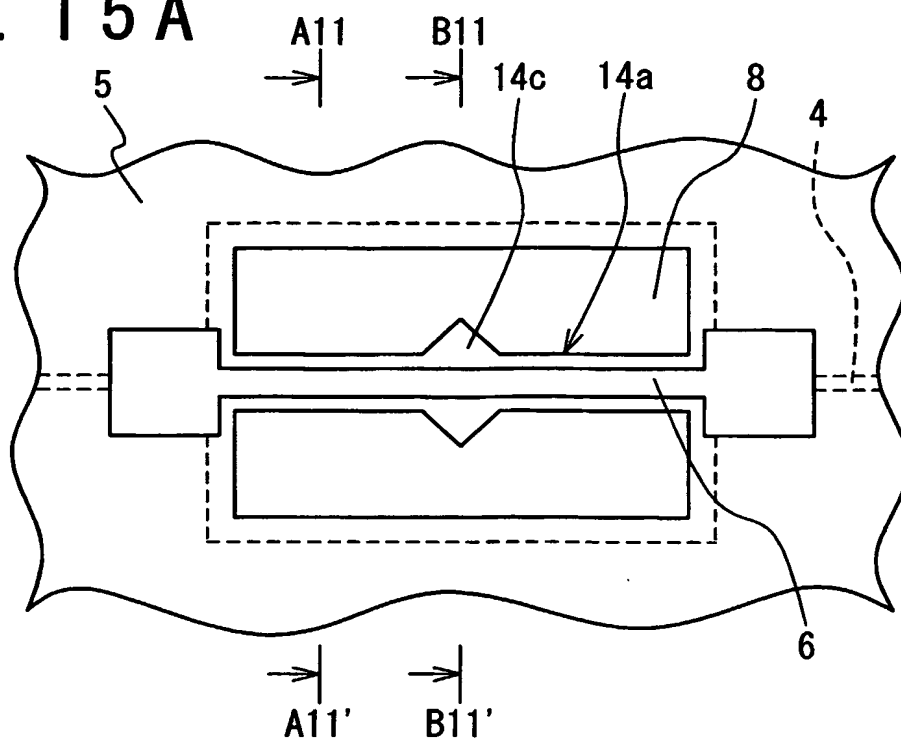


Fig. 15B

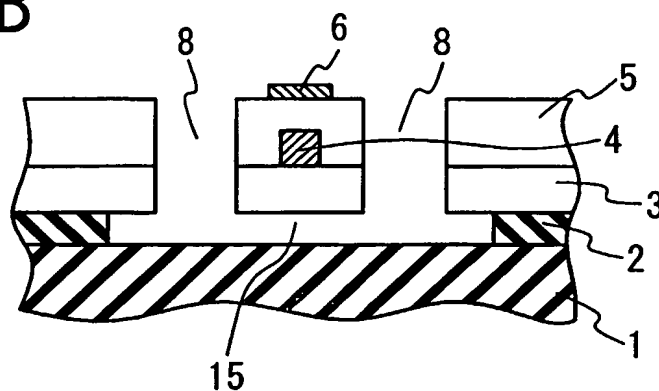


Fig. 15C

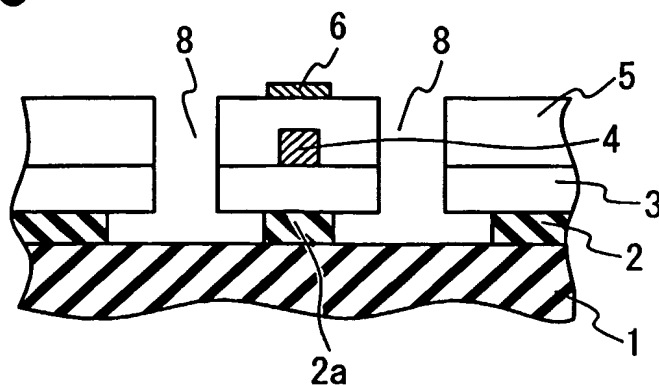


Fig. 16A

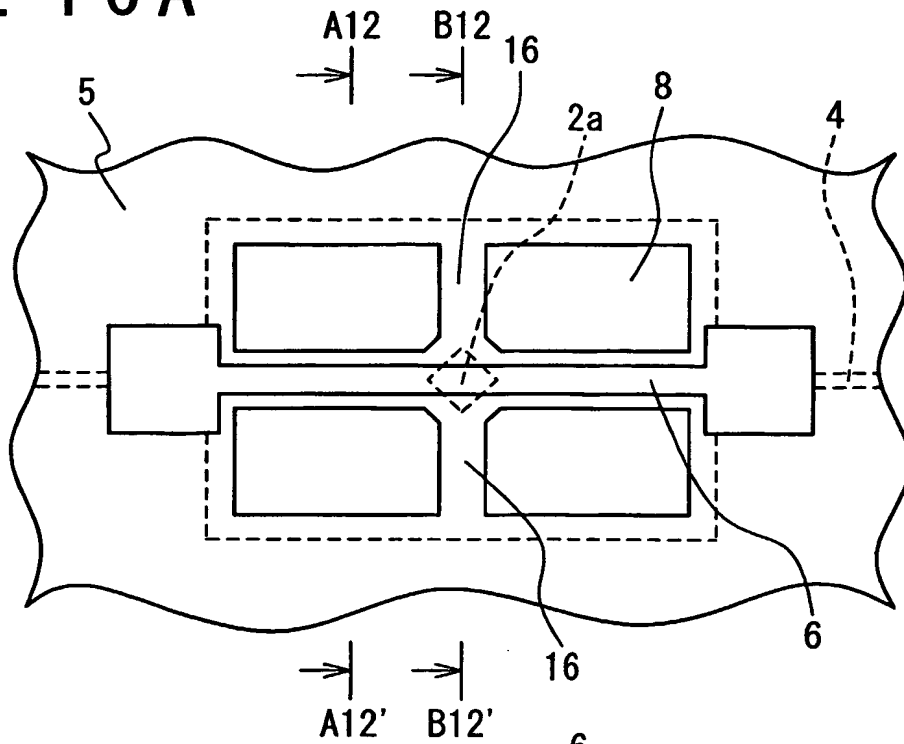


Fig. 16B

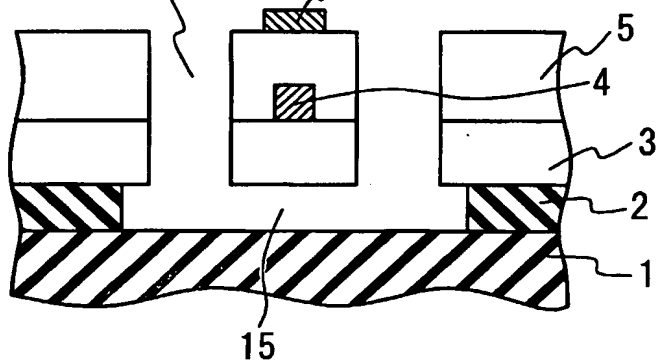


Fig. 16C

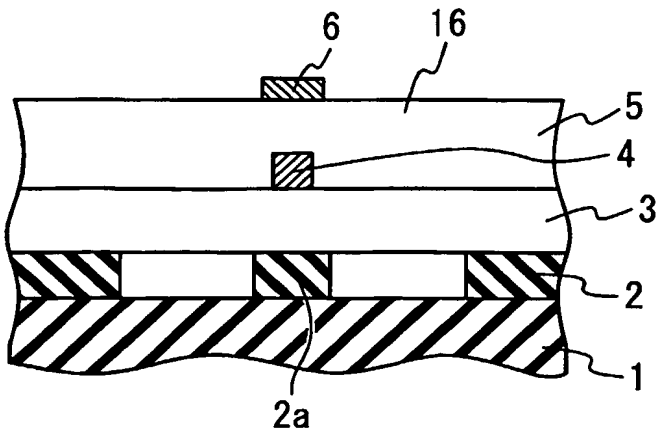


Fig. 18A

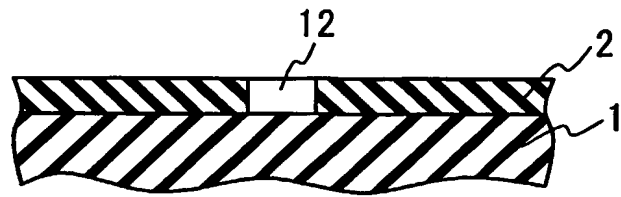


Fig. 18B

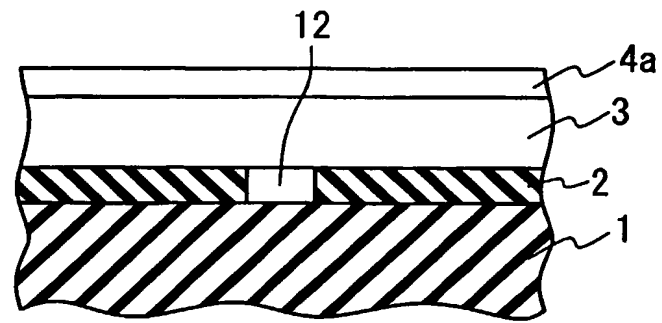


Fig. 18C

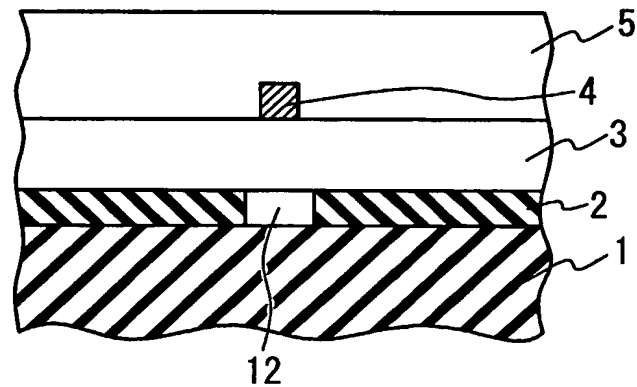


Fig. 18D

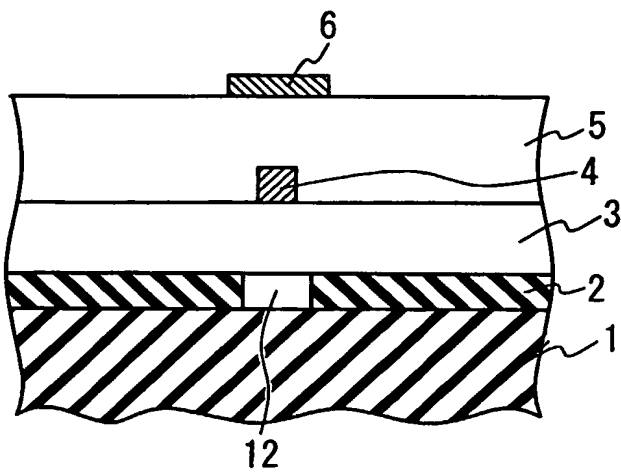
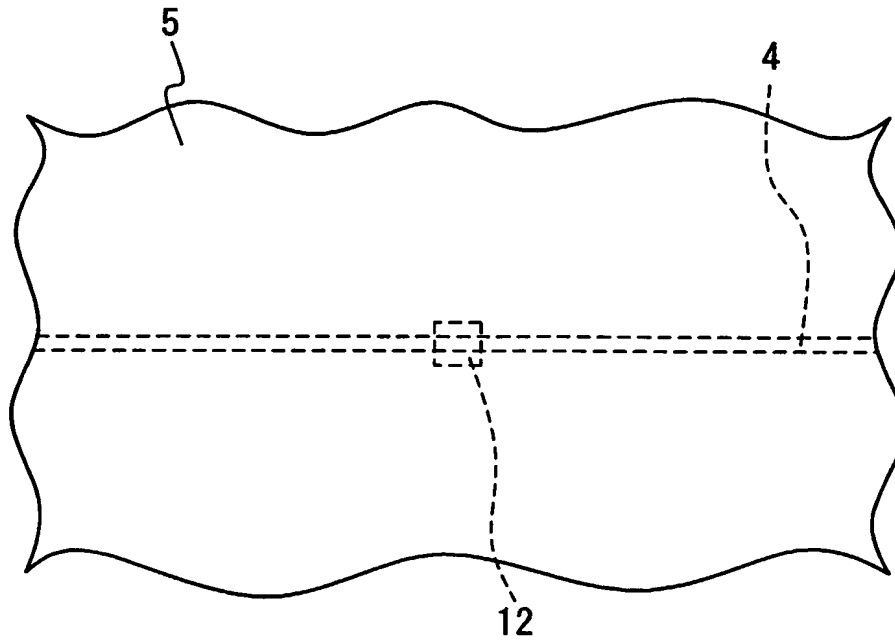


Fig. 19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/08245

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02F1/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02F1/01, G02B6/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST, USPTO Web Patent Database

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 01-158413 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.),	1-5, 9, 10,
Y	21 June, 1989 (21.06.89), (Family: none)	13, 18, 19, 21 6-8, 11, 12, 14-17, 20, 22-29
X	US 6031957 A1 (HITACHI CABLE LTD.),	1, 3-5, 9, 10,
Y	29 February, 2000 (29.02.00), & CA 2249670 A & JP 11-109157 A	21, 22, 24 2, 6-8, 11-20, 23, 25-29
Y	HORINO, M. et al., Development of Prototype Micromechanical Optical Switch, JSME International Journal, Ser.C., Vol.41, No.4, 1998, pages 978 to 982	6, 22-24

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
24 July, 2003 (24.07.03)

Date of mailing of the international search report
12 August, 2003 (12.08.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl ⁷ G02F1/01			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl ⁷ G02F1/01, G02B6/12			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公案 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2003年 日本国登録実用新案公報 1994-2003年 日本国実用新案登録公報 1996-2003年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
JICST USPTO Web Patent Database			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
X	JP 01-158413 A(日本電信電話株式会社)1989.06.21 (ファミリーなし)	1-5, 9, 10, 13, 18, 19, 21	
Y		6-8, 11, 12, 14 -17, 20, 22-29	
X	US 6031957 A1(HITACHI CABLE LTD.)2000.02.29 & CA 2249670 A & JP 11-109157 A	1, 3-5, 9, 10, 21, 22, 24	
Y		2, 6-8, 11-20, 23, 25-29	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 24.07.03		国際調査報告の発送日 2008.03	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 佐藤 宙子 電話番号 03-3581-1101 内線 3293	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	HORINO, M. et al. Development of Prototype Micromechanical Optical Switch, JSME International Journal, Ser.C, Vol.41, No. 4, 1998 , p. 978-982	6, 22-24